

6

59^e jaargang

NATUUR '91 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



ZWEEFVLIEGEN

CULTUUR IN DE GENEESKUNDE/BIO-PLASTICS/TOLLENDE QUARKS/DROOGTEPLANTEN/IMMUNOLOGISCHE ORGAANTJES



Een goede aanpak vraagt om breed opgeleide specialisten.

Milieukunde

Nieuw Rollocate bestaat dit jaar elf jaar. Elf jaar ervaring in het opleiden van milieukundigen op HBO-niveau met een breed spectrum aan kennis en ervaring. Op natuurwetenschappelijk, bestuurswetenschappelijk en sociaal wetenschappelijk gebied.

Met specialisaties op het gebied van:

- milieubeleid en milieubeheer
- natuur- en landschapsbeheer
- milieuplanologie
- milieocommunicatie
- bedrijfsmilieuzorg

nu ook in deeltijd.

Milieuchemie

is een paar jaar geleden gestart als een milieuloot aan de stam van de Laboratoriumopleidingen van IJssel Land. Deze opleiding levert specialisten op HBO-niveau met kennis van techniek en natuurwetenschappen.

Met specialisatie op het gebied van:

- arbeidshygiëne
- milieu-informatiekunde
- milieu-onderzoek.

Specialisten met een HBO-opleiding van **IJSELLAND MILIEU-OPLEIDINGEN**

Milieukunde en Milieuchemie gaan nu gezamenlijk opereren onder de naam Milieu-opleidingen. Dat is nieuw. Wat blijft is de inhoud en de kwaliteit van de opleidingen. Milieu-opleidingen voor de specialisten en generalisten, die nodig zijn voor een effectieve aanpak van milieuproblemen.

Milieu-opleidingen biedt meer:

specifieke milieucursussen op talloze terreinen. Cursussen voor één avond in de week gedurende 8, 12 of 24 weken. Maar ook cursussen op maat. Afgestemd op de behoefte van uw organisatie.

De uitgebreide brochure ligt voor u klaar!

IJssel Land leidt op in goede banen!

RIJKSHOGESCHOOL

IJSELLAND

Milieu-opleidingen

Postbus 357
7400 AJ DEVENTER
Tel: (05700) 20907

NATUUR '91 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 11,75 of 230 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Als bellen in kokend water 'borrelt' warme lucht op boven stukken aardoppervlak die krachtig door de zon worden verwarmd. Zweefvliegtuigen laten zich op die thermiekstromen mee omhoog voeren en kunnen zo vaak uren in de lucht blijven. Pas als de zon ondergaat, keert de rust terug in de atmosfeer. Vanaf pagina 412 neemt een zweefvlieginstructeur u mee in een schijnbaar gewichtloze vlucht.

(Foto: Fotostock BV, Amsterdam)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,
Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretariaat: Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, S.M.A. Peters, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. van der Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. van Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verdijnen, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.).

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur). Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Artikelen met neverstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECHNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTÍFICO (E), met de steun van de Commissie van de EG.

Gehalte of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.

ISSN 0028-1093

INHOUD

BEZIENSWAARDIG	IV
SIMULATICA/Osmose	VI
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Eenheid van wetenschap?	411
ZWEEFVLIEGEN	412

Ad Kennes

Zweefvliegen is vliegen met een luchtvaartuig dat zwaarder is dan lucht en niet voorzien is van een motor. Dat klinkt misschien als 'vliegen als een baksteen', maar niets is minder waar. Dankzij een uitgekiend model, met lange, slanke vleugels en een heel glad oppervlak, kan een modern zweefvliegtuig gemakkelijk veertig kilometer afleggen terwijl het slechts een kilometer daalt. Een ervaren piloot weet handig gebruik te maken van opwaartse luchstromen en kan zo telkens hoogte winnen. Op die manier kan een piloot uren boven blijven en zijn vluchten van meer dan duizend kilometer mogelijk.

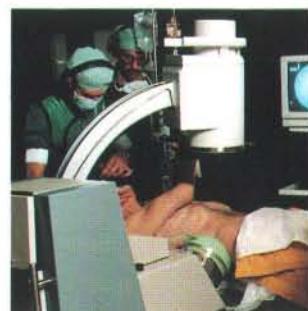


GRENSGEVALLEN	424
---------------	-----

Culturen in de westerse geneeskunde

Lynn Payer

Toen Marie R. een Franse arts raadpleegde met klachten van hyperventilatie en angst, vermoeidheid en spiertrekkingen, vertelde hij haar dat ze leed aan spasmofylie, ontstaan door magnesiumgebrek. Hij schreef haar magnesium en acupunctuur voor. Toen Marie naar de Verenigde Staten verhuisde, luidde de diagnose van de Amerikaanse artsen totaal anders. Marie kreeg te horen dat angsten haar klachten veroorzaakten. Haar toestand verbeterde pas toen ze kalmerende middelen en psychotherapie kreeg.



NATUURLIJKE KUNSTSTOF	438
-----------------------	-----

Polyester uit bacteriën

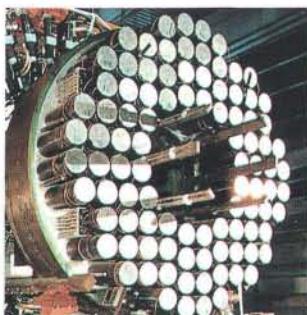
Bernard Witholt, Gjalt Huisman en Hans Preusting

In barre tijden maken zij die sparen betere kansen dan zij die verkwisten. Onze voorouders wisten dit – de natuur weet het. Op het niveau van cellen is het niet anders, en worden kleine molekulen aaneengeregen en als polymeren opgeslagen. De mensheid benut zulke biopolymeren, zoals zetmeel en rubber. In de natuur kunnen deze polymeren ook weer worden afgebroken. Als we bacteriën zouden aanzetten tot het maken van nieuwe polymeren, kunnen we wellicht de plastics die we nu gebruiken vervangen door biologisch afbreekbare kunststoffen.



NATUUR '91 & TECHNIEK

juni/59^e jaargang 1991



SPINPUZZEL

De rol van de tollende quarks

P.J.G. Mulders

Twee soorten quarks vormen de elementaire bouwstenen van alle zware materie in het heelal. Hun gedrag als harde pitten in protonen en neutronen blijkt duidelijk uit experimenten waarin we deeltjes op elkaar schieten. Juist nu fysici met gedetailleerde proeven de puntjes op de i willen zetten, rijzen tal van vragen. Een ervan behelst het impulsmoment van het proton. Komt dit wel van de drie quarks erin? Of lijken de uitkomsten van de experimenten zo vreemd omdat we de dynamica van de quarks in het proton onvoldoende begrijpen?

448



WIJS MET WATER

Droogte-aanpassingen bij planten

P. Van Damme

Woestijnen zijn desolate gebieden waar niets lijkt te groeien en waar dierlijk leven nauwelijks mogelijk lijkt. De Sahel en grote gebieden in Afrika ten zuiden van de Sahara komen op gezette tijden in het nieuws als de droogte weer een hongersnood veroorzaakt. Maar ook in doorgaans vochtige gebieden kunnen korte droogteperioden voorkomen. Bijna één derde van het land op aarde bestaat uit gebieden waar watergebrek de groei van planten beperkt. Toch zijn die gebieden verre van dood. Op allerlei manieren weten planten het weinige water dat er valt te benutten.

460



IMMUNOLOGISCHE ORGAANTJES

Afweer ter plaatse

R.H.J. Beelen

Het omentum, een vlies dat in de buikholte hangt, vindt in de chirurgie toepassing bij de bekleding van de meest akelijke wonderen die men zich kan voorstellen. Die helen daarbij spectaculair snel en mooi. Op zoek naar het antwoord op de vraag hoe het komt dat het omentum zo goed werkt, is gebleken dat het fungert als een soort plaatselijke 'immuunfabriek'. In het vries komen vele orgaantjes voor, die in de afweer tegen indringers heel specifiek kunnen reageren en een voorhoederrol spelen in onze afweer, juist op die plekken waar de indringers binnenkomen en we de afweer dus hard nodig hebben.

472

ANALYSE & KATALYSE/500 Kilo stikstof per hectare/
De fuzzy logic hype/Een snelle tbc-test

482

BEZIENSWAARDIG/BOEKEN

493

PRIJSVRAAG

497

BEZIENSWAARDIG

Gedenkwaardig gemaal

Museum Cruquius, Cruquiusdijk 27, Cruquius (gemeente Haarlemmermeer). Museum gewijd aan de geschiedenis van droogmakerijen en polders in Nederland. Openingstijden verschillen per seizoen: van april tot en met september op werkdagen van 10.00 tot 17.00 uur en op zon- en feestdagen van 12.00 tot 17.00 uur. Voor groepsbezoek en rondleidingen (ook 's avonds) kan een afspraak worden gemaakt: tel. 023 - 28 57 04. Toegangsprijs: volwassenen f 3,50. Groepen, jongeren en 65-plusers krijgen korting.

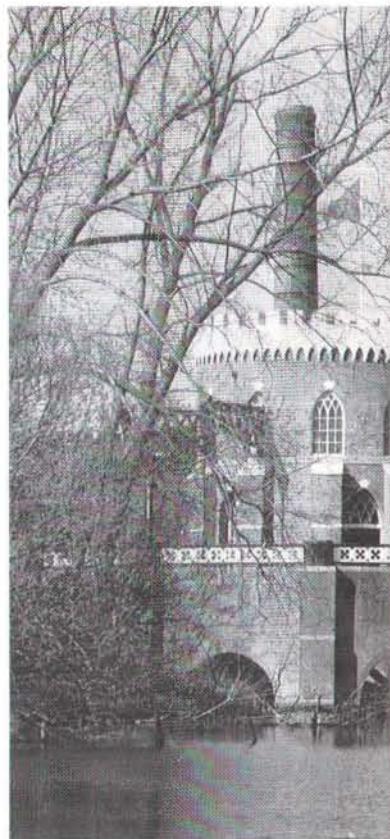
De Amerikaanse vereniging van werktuigbouwkundige ingenieurs begon in 1971 een 'Landmarkprogramma', met als doel sterke staaltjes van werktuigbouwkunde voor het nageslacht vast te leggen. Buiten de VS zijn slechts acht monumenten als 'Landmark' erkend. Vanaf 19 juni zal Nederland nummer negen binnen haar grenzen herbergen. Dan zal het ex-stoomgemaal 'de Cruquius' bij Vlijhuizen tijdens een internationale ceremonie tot de erelijst worden toegevoegd.

Het Haarlemmermeer ontstond in de Middeleeuwen door ontwatering en afkalvende oevers van een aantal meren. Het meer groeide steeds verder door en begon in de 17e eeuw een ware bedreiging te vormen. De 'Waterwolf', zoals het meer wel werd genoemd, had echter ook een belangrijke functie in de scheepvaart, visserij en de waterhuishouding. Belangentegenstellingen, verbrokkeld bestuur en hoge kosten stonden steeds in de weg van de ruim tweehonderd plannen die destijds zijn ingediend om de binnenzee geheel of gedeeltelijk droog te leggen. De kosten om oeversversteigingen aan te brengen of te onderhouden, liepen echter steeds hoger op. Boven-

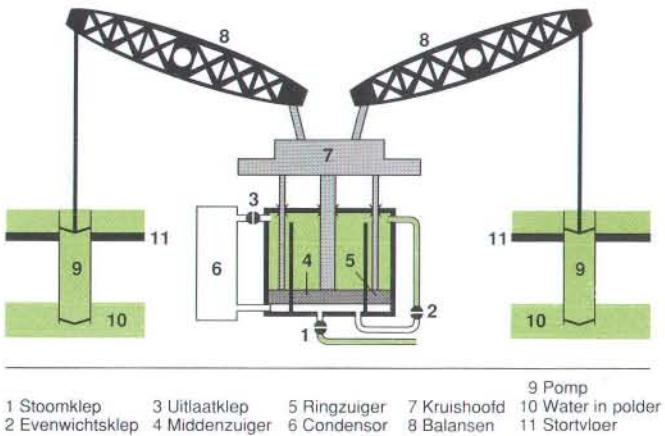
dien boden deze versteigingen onvoldoende zekerheid voor de omringende gebieden. Na twee zware stormen in 1836 was het meer zelfs doorgedrongen tot de poorten van Amsterdam. Aangezien Nederland in de 19e eeuw een centraal bestuur met feitelijke macht kreeg, kon er toen iets op nationale schaal worden ondernomen. Koning Willem I benoemde enkele commissies die de inpoldering van het Haarlemmermeer nu maar eens serieus moesten bekijken. In 1840 kwam de stoutmoedige beslissing het meer volledig droog te leggen met stoomkracht. Nog nooit was stoomkracht op dergelijke grote schaal toegepast.

De Nederlanders gaven de opdracht om een aantal enorme gemalen te ontwerpen, in de bekwaame handen van Gibbs en Dean uit Londen. Ook de bouw van de machines vond in Engeland plaats, namelijk in Cornwall, onder toezicht van twee Nederlandse commissieleden.

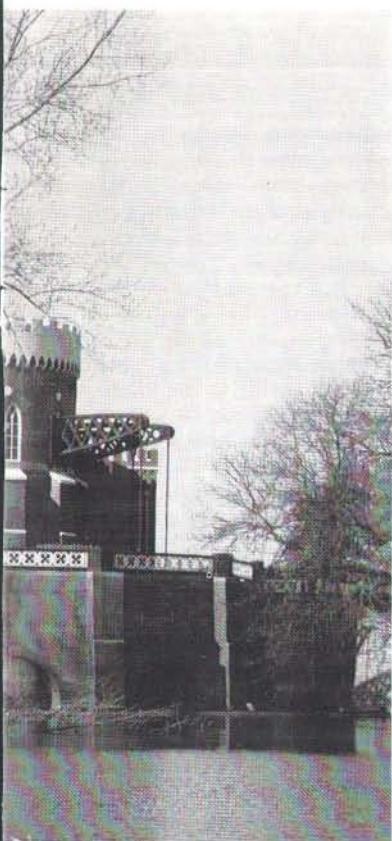
Uiteindelijk zorgden drie gigantische stoomgemalen voor het leegpompen van het Haarlemmermeer: de 'Lynden', de 'Leeghwater' en de 'Cruquius'. De 'Cruquius' was het grootste gemaal



Het enorme gemaal is een technisch hoogstandje. Het zou prachtig zijn als men het weer zou kunnen zien pompen. (Foto's: R. Gisolf, Hoofddorp)



BEZIENSWAARDIG

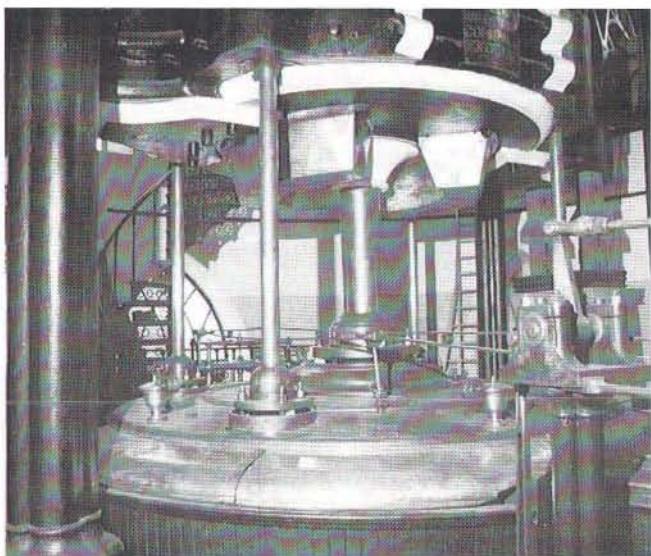


met acht pompen en eerst zes en later tien stoomketels. De binnendiameter van de cilinder was meer dan 3,5 meter. Grotere cilinders zijn nooit gebouwd! Gedurende drie jaar, van 1849 tot 1852, waren de pompen continu actief om de watermassa in een prima stuk landbouwgrond om te toveren. Bij de droogmaking speelde ook de gezondheidsproblematiek een rol, iets waar we nu niet meer bij stilstaan. De adviserend geneesheer Pool achteerde diverse maatregelen nodig om de arbeiders te beschermen tegen moeraskoorts, maar die werden door de heren technici en besluitvormers niet nodig geacht. Volgens de voorzitter van de Commissie voor de Drooglegging waren de "polderjongens" wel "tegen ziekten en vermoeienissen gehard", het waren immers "gespierde, forse en wakkere mannen, want de zwakken en tragen vallen af..." Vanaf 1852 deden de gemalen nog slechts zo af en toe dienst, namelijk om het waterpeil te reguleren. De 'Leeghwater' en de 'Lynden' doen dit in hun gemonderiseerde vorm nog steeds. In het begin van deze eeuw spraken

enkele leden van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs hun bezorgdheid uit over het behoud van dergelijke machines voor de komende generaties. De gemalen waren immers mijlpalen in de geschiedenis van de drooglegging en bovendien een bewijs van het technisch vernuft van een oudere generatie ingenieurs.

In 1933 richt het ingenieursinstituut de stichting 'de Cruquius' op, met prinses Juliana als eerste lid. Met behulp van donoren en de uitgifte van gedenkpenningen trachtte de stichting voldoende kapitaal binnen te halen om het stoomgemaal te behouden en, indien mogelijk, opnieuw in bedrijf te stellen. Een jaar later komen de Haarlemmermeer polder en de stichting overeen dat de laatste de gebouwen en terreinen in erfpacht zal krijgen voor het symbolische bedrag van één gulden per jaar. Weer twee jaar later, tekenen nu 1936, stelt de stichting het gemaal dagelijks open ter bezichtiging. In het voormalige ketthuis verschijnt een museum. Tegenwoordig is het museum gewijd aan de geschiedenis van droogmakerijen en polders in Nederland. Er bevinden zich stoommachines en pompen en de bezoeker kan er een overstroming simuleren aan de hand van een maquette. Het gemaal is monumentaal en zoals het een monument betaamt, is het hard aan onderhoud toe. De laatste jaren zijn al ingrijpende vernieuwingen aangebracht, maar de stichting zit uiteraard met chronisch geldgebrek. Met de benoeming tot 'Landmark' in juni hoopt ze dat de belangstelling voor de eerbiedwaardige machine toe zal nemen. De roep om het opnieuw in bedrijf stellen van het gemaal wordt in ieder geval steeds luider. De opvangcapaciteit voor bezoekers is verhoogd van 30 000 naar 50 000 per jaar door openstelling op afspraak in de wintermaanden. U bent van harte welkom.

Susan Peters



SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier

Osmose

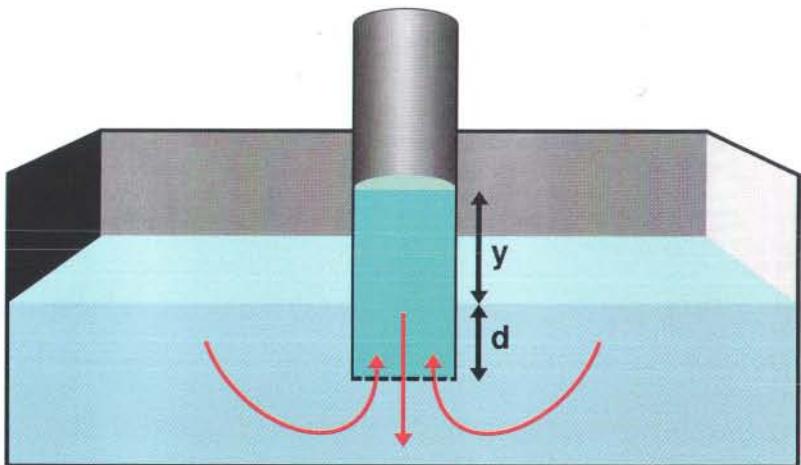
Osmose is een fysisch proces, waarbij water zich tegen een concentratiegradiënt in verplaatst. We komen het tegen in de techniek en de biologie. Er ligt een eenvoudig wiskundig principe aan ten grondslag dat we met weinig moeite in een computerprogramma kunnen verwerken. Zo kunnen we experimenteren zonder nat te worden.

Een bekend experiment dat het verschijnsel osmose duidelijk toont, gaat uit van een bak gevuld met zuiver water en een glazen buis. Een uiteinde van deze buis is afgesloten met een zogenaamde *semi-permeabele* (halfdoorlatende) wand. Dat is een membraan dat wel watermolekülen doorlaat maar geen grotere molekülen. We vullen de buis eveneens met water, maar voegen daar bovendien een kleine hoeveelheid van een andere verbinding aan toe, bijvoorbeeld keukenzout. De buis met de zoutoplossing plaatsen we verticaal in de bak met water. Daarbij zorgen we ervoor dat de waterspiegels zich op gelijke hoogte bevinden. Het blijkt dan dat water de buis binnendringt en het niveau van de oplossing in de buis stijgt. Tenslotte stelt zich een evenwicht in; de druk die ontstaat door het niveauer-

schil compenseert de zogenaamde osmotische druk van de opgeloste stof in de buis. In het hier beschouwde model nemen we gemakshalve aan dat de waterbak zoveel water bevat, dat de waterstand gedurende het osmoseproces constant blijft.

In het mathematische model dat we de computer voorleggen, beschrijven we de drukverandering met als variabele het hoogteverschil y tussen de waterkolom in de buis en de waterspiegel van de bak. De snelheid waarmee y verandert als functie van de tijd hangt af van het verschil tussen de osmotische druk en de hydrostatische druk. De eerste term kunnen we beschrijven als $a/(y+d)$, waarbij d overeenkomt met afstand tussen de waterspiegel en het membraan. De osmotische druk is immers evenredig met de concentratie van de opgeloste stof en dus omgekeerd evenredig met de totale lengte $y + d$ van de vloeistofkolom in de buis. De constante a is een evenredigheidsconstante, die natuurlijk afhangt van de gekozen meetgrootheden. De tweede term, de hydrostatische druk, kunnen we voorstellen als $b y$, waarbij b een maat is voor de doorlaatbaarheid van het semi-permeabele membraan. Het

Een buis die is afgesloten met een halfdoorlatende wand steekt een afstand d in een bak met water. Door osmose stijgt het vloeistofniveau in de buis, y , tot een evenwicht ontstaat.



```

10 REM ***MODEL VAN OSMOSE***
20 REM ***NAAM:OSMOSE***
30 SCREEN 9 : CLS
40 B=2 : H=.002
50 A=1 : D=1 : T=0
60 WINDOW (-8,-4)-(8,8)
70 LINE (-6,2)-(-6,-2) : LINE -(6,-2) : LINE -(6,2)
80 LINE (-1,6)-(-1,-D) : LINE -(1,-D) : LINE -(1,6)
90 LINE (-6,0)-(6,0) : PAINT (0,-.5)
100 YMAX=(-D+SQR(D*D+4*B/A))/2
110 PSET (0,YMAX)
120 WHILE INKEY$=""
130 LINE (-1,Y)-(1,Y)
140 Y1=-A*Y+B/(Y+D)
150 Y2=-(A+B/(Y+D)^2)/2
160 Y=Y+H*Y1*(1+H*Y2)
170 WEND
180 END

```

model is dan bepaald door de gewone differentiaalvergelijking

$$\frac{dy}{dt} = a/(y+d) - b \cdot y$$

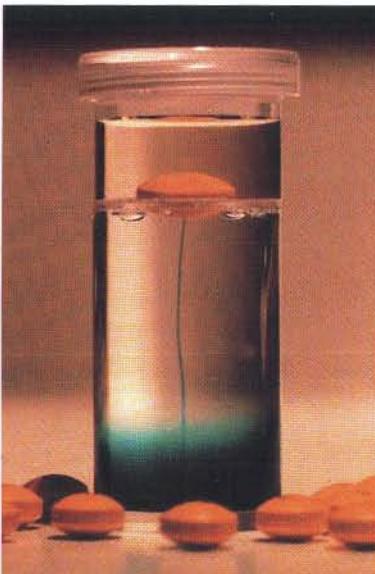
met als beginvoorraarde $y=0$ voor $t=0$.

De evenwichtstoestand valt hieruit meteen af te leiden door het rechterlid nul te stellen, maar liever willen we met behulp van de computer nagaan hoe het evenwicht ontstaat. De differentiaalvergelijking kan met wat handigheid geïntegreerd worden in formulevorm. Dat is in dit computertijdperk alleen zinvol wanneer dat tot heel eenvoudige formules zou leiden. Het dreigt hier echter ingewikkeld te worden en dan voeren we de integratie liever numeriek uit. Dat kan op vele manieren. Misschien is zo'n integratie nog wel het eenvoudigst door voor elke tijdstap van t naar $t+h$ een klein stukje van een Taylor-reeks te gebruiken volgens

$$y(t+h) = y(t) + h \cdot y'(t) + \frac{1}{2}h^2 y''(t)$$

Het onderstaande programma geeft aan hoe de integratie kan worden uitgevoerd. Vooral de keuze van de tijdstap h is belangrijk. Als we een nauwkeurig resultaat willen verkrijgen mogen we dit tijdstip niet te groot kiezen. Om inzicht in de nauwkeurigheid te verkrijgen kan de lezer de theorie te hulp roepen, maar het is ook mogelijk om proefondervindelijk een indruk van de precisie te krijgen door het integratieproces te herhalen met grotere of kleinere waarden van h .

In het mathematische model kunnen de parameters d en a allebei door 1 worden vervangen. Als enige dimensieloze parameter blijft dan b over, de perme-



*De buitenkant van deze pil is semipermeabel. Nadat het geneesmiddel in de pil is opgelost, drukt de hydrostatische druk de oplossing door een opening naar buiten.
(Foto: Dr A.G. de Boer, RU Leiden.)*

bilitéit van het halfdoorlatende grensvlak. De lezer kan overigens met een eigen keuze van de parameters a , b en d , het experiment aanpassen aan een zelf-gekozen realistische situatie. Het programma toont op het beeldscherm het effect van de osmose als de stijging van een vloeistofniveau. Het evenwicht, de limietstand, is weergegeven als een stipje. Deze simulatie stopt na indrukken van een willekeurige toets.

Het **nieuwste** boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek

NAVIGATIE IN DE NATUUR

NAVIGATIE IN DE NATUUR

Meesters in de stuurmanskunst.

TALBOT H. WATERMAN



Meesters in de stuurmanskunst

Talbot H. Waterman, Yale University

Telkens opnieuw weten postduiven hun weg terug te vinden, de zalm gaat eens in zijn leven terug naar de plaats waar hij ter wereld kwam en de monarchvlinder kan duizenden kilometers afleggen naar plekken waar hij nooit eerder is geweest. Vele dieren zijn 'trekkers', soms over grote afstanden. Welke technieken gebruiken dieren om zulke gecompliceerde staaltjes van stuurmanskunst te volbrengen? Waterman laat in dit boek uitvoerig en helder zien hoe dieren op diverse manieren hun eigen 'kompas', 'landkaart' en 'klok' hebben ontwikkeld om hun route te vinden. Ook gaat hij in op de vraag waar dergelijke trekschachten voor dienen.

Dit is deel 24 uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek: 256 pagina's met 190 afbeeldingen in vierkleurendruk.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees van Natuur & Techniek:

f 59,50 of 1165 F.

Voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek:

f 49,75 of 975 F.

Informatie en bestellingen tot 16.30 uur:
0(0-31)43.254044

AUTEURS

A.L.G.M. Kennes ('Zweefvliegen') werd op 12 oktober 1946 in Alphen (N-Br) geboren. Hij was tekenaar-constructeur en volgde in de avonduren de larenopleiding werktuigbouwkunde. Sinds 1975 is hij leraar, momenteel aan de afdeling luchtvarttechnieken van de MTS Tilburg. De weekeinden brengt hij door als zweefvlieger en instructeur van de Kempsische Aeroclub in Weelde.

L. Payer ('Geneeskundecultuur') schrijft als journaliste vooral over onderwerpen uit de geneeskunde en de gezondheidszorg. Onlangs verscheen van haar hand een boek over geneeskunde en cultuur.

Prof dr B. Witholt ('Bioplastics') is in 1941 in Den Haag geboren. Hij studeerde biologie aan Amherst College in Massachusetts, VS en promoveerde in 1968 aan de John Hopkins University te Baltimore. Hij was onderzoeker aan de University of California in La Jolla en is sinds 1972 verbonden aan de RU Groningen, waar hij hoogleraar biochemie is.

Drs G.W. Huisman ('Bioplastics') is geboren in Leeuwarden, op 26 januari 1963. Hij studeerde van 1981 tot 1987 scheikunde, met specialisatie biochemie, aan de Rijksuniversiteit Groningen. Sinds zijn afstuderen verricht hij in het Groningse biochemielab een promotieonderzoek.

Drs H. Preusting ('Bioplastics') is op 10 mei 1962 geboren in Leeuwarden. Hij studeerde scheikunde aan de RU Groningen van 1981 tot 1987, met als specialisatie biochemie. Sinds zijn afstuderen werkt hij aan een promotieonderzoek in het biochemielaboratorium van de Groningse universiteit.

Prof dr P.J.G. Mulders ('Protonspin') werd in 1953 in Veulen (Venray) geboren. Hij studeerde in Nijmegen en promoveerde daar in 1980. Hij was twee jaar research associate aan het Los Alamos National Laboratory en twee jaar aan het Massachusetts Institute of Technology. In 1984 werd hij medewerker van het NIKHEF en in 1989 bijzonder hoogleraar theoretische natuurkunde aan de VU in Amsterdam.

Dr ir P.I.J. Van Damme ('Droogte-aanpassingen') werd op 28 januari 1956 in Gent geboren. Hij studeerde er van 1974 tot 1979 tropische plantenteelt. Van Damme promoveerde in 1989. Hij onderzocht plantenziekten en gaf voorlichting over tomatenteelt in Senegal. Sinds 1982 is hij assistent aan de landbouwfaculteit van de RU Gent.

Dr R.H.J. Beelen ('Immunologie') werd in 1949 in Deventer geboren. Hij studeerde biochemie aan de Universiteit van Amsterdam. In 1980 promoveerde hij aan de Amsterdamse VU, waar hij tot 1987 wetenschappelijk medewerker was. In die periode werkte hij een jaar in de VS. Beelen was hoofd van het hematologie-lab van het Academisch Ziekenhuis in Utrecht en is nu hoofddocent aan de VU.

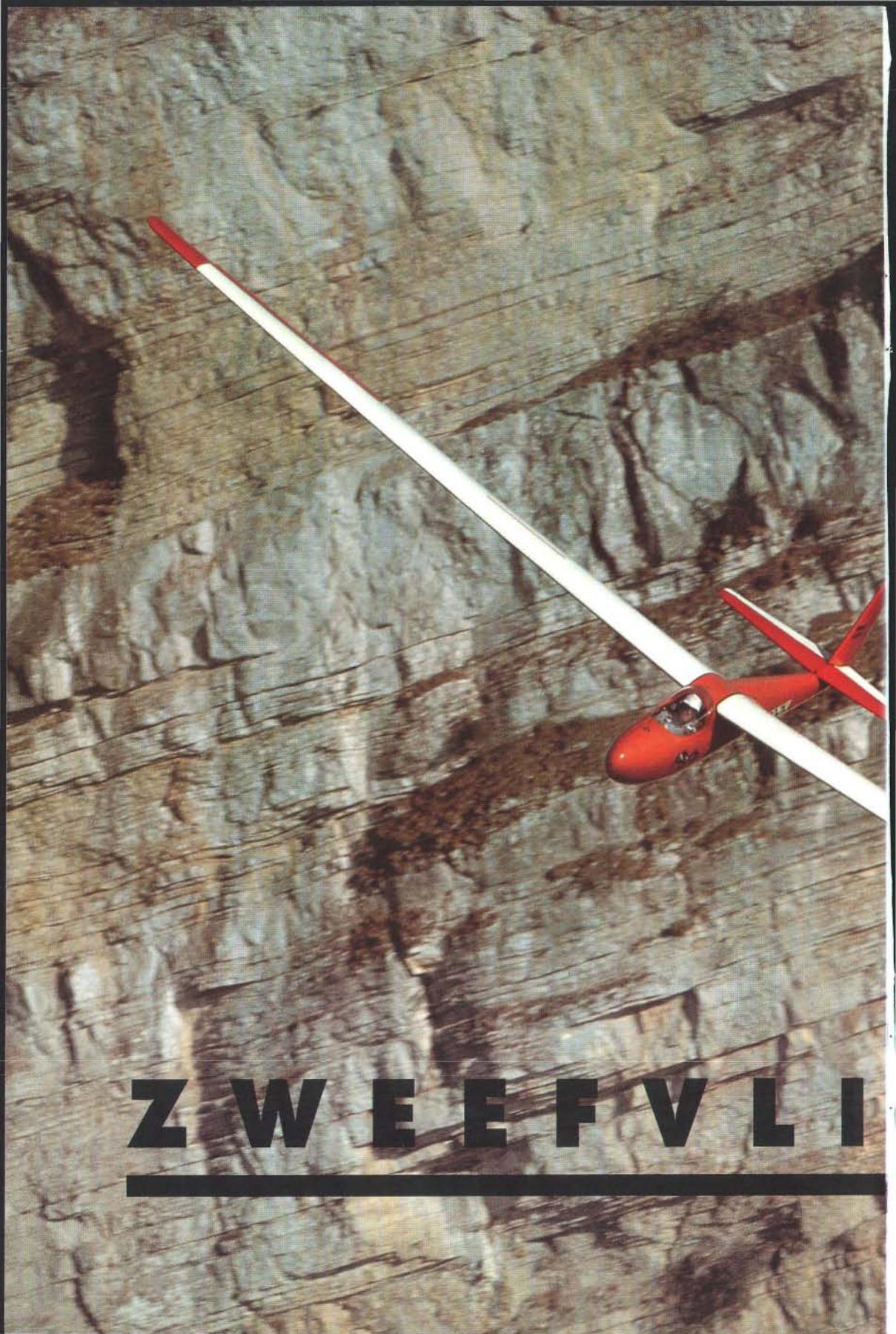
Eenheid van wetenschap?

Op het eerste gezicht bestaat er een hoge mate van overeenkomst tussen de beschreven denkwijze in de artikelen van Lynn Payer (pag. 424) en P.J.G. Mulders (pag. 448). Beiden beschrijven theoretische raamwerken die aan twijfels onderhevig zijn, en beiden komen tot de slotsom dat deze twijfels nuttig zijn voor de vooruitgang van de wetenschap. Beiden ook bespreken begrippen die zijn ingevoerd toen de klassieke theorieën niet goed bleken te werken. De quark (Mulders) is de natuurkunde binnengekomen als zuiver wiskundige term die de vergelijkingen kloppend maakte, met als filosofische noot dat het er niet zo veel toe deed of die wiskundige term ook iets materieels voorstelde. Bij Payer blijkt dat verder nauwelijks verklaarde invloeden van het hart, het gestel of de lever uitkomst bieden waar de geneeskundige theorie verstek laat gaan.

De verschillen zijn evenwel groter dan de overeenkomsten. De quark mag dan een theoretische entiteit zijn (geweest?), de theorie vertelde wel precies welke eigenschappen de quark zou moeten hebben. Dat maakt het ook mogelijk de theorie streng te toetsen en tot de slotsom te komen dat de theorie niet deugt. Dat is precies wat Mulders hier beschrijft – compleet met de door verscheidene wetenschapsfilosofen beschreven poging de bestaande theorie nog te redden door het invoeren van hulphypothesen. Heel anders ligt dat bij de theoretische hulpmiddelen die in de medische wereld worden gebruikt. Om te beginnen blijken die per land te verschillen. De quark is een in de hele wereld door alle betrokken fysici aanvaard begrip. Dat in de Maoïstische tijd in China een publicatie verscheen onder de titel *Hoe de welpen te vangen zonder de tijger te verstören* verhinderde niet dat het artikel een op de bestudering van quarks gericht experiment beschreef. In Payers artikel blijkt zo'n eenheid allerminst.

Het tweede en misschien wel grootste verschil is dat de verschillende opvattingen niet in toetsbare vorm bestaan. De Duitse combinatie van hart en bloedsomloop met niet omschreven afwijkingen die de oorzaak zouden zijn van onheil, het nog vagere Franse gestel als basis voor wel en wee, en de Amerikaanse opvatting dat alles prima gaat zolang er maar geen invloeden van buitenaf zijn, kunnen geen van alle worden getoetst. Het zijn theoretische noodgrepen die een schijn van helderheid brengen in een onheldere situatie.

Dat die situatie onhelder is, hangt samen met het complexiteitsniveau. Een proton mag dan niet erg begrijpelijk zijn, veel minder complex kan men zijn eenheid van onderzoek niet kiezen. De geneeskundige heeft te maken met onderdelen van cellen die in wisselwerking staan met andere onderdelen, met hele cellen in wisselwerking met andere, met organen in wisselwerking met andere en met organismen in een omgeving. Dat ontrekt zich aan onderzoek. Veel meer dan één ding tegelijk kan men niet bekijken. De rest wordt dan noodzakelijkerwijs onscherp.

A red and white two-seater glider is shown from a low angle, flying diagonally across the frame. The aircraft has a white leading edge on its wings and a red body. It is set against a background of a rocky, mountainous terrain with prominent horizontal sedimentary rock layers.

Z W E E F V L I

De auteur van dit artikel wint hoogte voor de wand van de Gache, een berg nabij Sisteron in Zuid-Frankrijk. Daar ontstaat een opwaartse luchtstroom doordat de wind die recht op de helling staat omhoog wordt gedwongen.

Zweefvliegen is vliegen met een luchtvaartuig dat zwaarder is dan lucht en niet voorzien is van een motor. Dat klinkt misschien als 'vliegen als een baksteen', maar niets is minder waar. Dankzij een uitgekiend model, met lange, slanke vleugels en een heel glad oppervlak, kan een modern zweefvliegtuig gemakkelijk veertig kilometer afleggen terwijl het slechts een kilometer daalt. Een ervaren piloot weet handig gebruik te maken van opwaartse luchtstromen en kan daarin telkens hoogte winnen. Op die manier kan een piloot uren boven blijven en zijn vluchten van meer dan duizend kilometer mogelijk.

E G E N

Ad Kennes
Afdeling Luchtvaart
MTS Tilburg



1

1. Keurig 'opgelijnd' wachten de zweefvliegtuigen het moment van de start af. De toestellen worden een voor een tegen de wind in door een sportvliegtuig omhooggetrokken.

2 en 3. Deze twee foto's zijn een deel van het bewijsmateriaal van een overlandvlucht. Die voerde van vliegveld Weelde (bij Turnhout) naar een kruispunt bij Verviers (2), van daar naar de Rijnbrug bij Emmerich (3) en weer terug naar Weelde - een traject van 320 km.

Het is een veelbelovende dag; de zon doet zijn best om de ochtendtemperatuur op te schroeven. Op het zweefvliegveld gonst het van activiteiten. Zweefvliegtuigen worden van de hangar naar de startplaats getransporteerd, of ter plaatse gemonteerd. Gedemonteerde zweefvliegtuigen worden achter de auto in lange aanhangwagens vervoerd. Bij de montage rollen enkele leden van de zweefvliegclub eerst de romp uit de aanhangwagens, daarna monteren zij de vleugels en vervolgens het stabilo, de achtervleugel. Een klus die drie personen binnen tien minuten klaren. Elk vliegtuig krijgt een grondige inspectie en is dan startklaar.

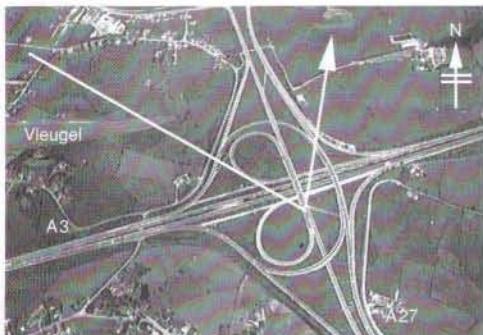
Het lesbedrijf komt al snel op gang: een sleepvliegtuig trekt de tweepersoons lesvliegtuigen de lucht in. De aspirant-piloot kan een vreemd gevoel rond zijn maag niet onderdrukken, hoewel hij weet dat de instructeur vlak achter hem alles onder controle heeft.

De gevorderde piloten hebben hun grote witte vogels klaarstaan en bereiden hun overlandvlucht voor. Ze schatten aan de hand van de meteogegevens in wat het weer die dag gaat doen en ze kiezen de de grootte en de richting van de vlucht. Is de keuze gemaakt dan wordt de vlucht op een luchtaartkaart ingetekend, waarbij men rekening houdt met de plaatselijke en regionale verkeersgebieden. De piloten maken een globaal tijdsbestek voor de duur van de

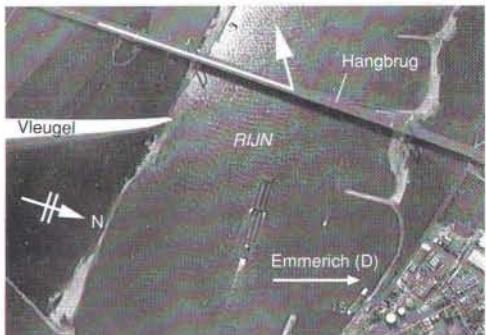
vlucht, waarbij de richting en de snelheid van de wind en de verwachte gemiddelde stijging een grote rol spelen. De vlucht wordt meestal zo gekozen dat zij eindigt op het vliegveld van waar men vertrokken is. De vluchtvormen kunnen dan zijn: retour, driehoek of veelhoek.

Als tegen het middaguur de eerste witte staelp wolken aan de blauwe hemel verschijnen, wordt het de hoogste tijd om te vertrekken. De zweefvliegtuigen worden netjes opgesteld op de startplaats, met hun neus in de wind, de piloten gespen hun parachutes aan en geven de proviand voor de lange vlucht een plaatsje in de krappe cockpit. Vooral het meenemen van voldoende drank is belangrijk. Door de tropische temperatuur die onder de perspexkap kan ontstaan, verliest de vlieger veel vocht. Hij moet dus veel drinken.

Een voor een worden de toestellen door een sleepvliegtuig de lucht ingebracht. Een sleepvliegtuig is meestal een eenmotorig sportvliegtuig, uitgerust met een sleephaak. Op ongeveer vijfhonderd meter hoogte gooit de piloot van het zweeftoestel de kabel los; de vrije vlucht is begonnen. Het komt er nu simpel gezegd op neer dat de vliegenier een opwaartse luchtstroming (meestal thermiek) opspoort, hierin spiraalsgewijs hoogte wint en dan de hoogte omzet in afstand door een glijvlucht naar de volgende opwaartse stroom.



2



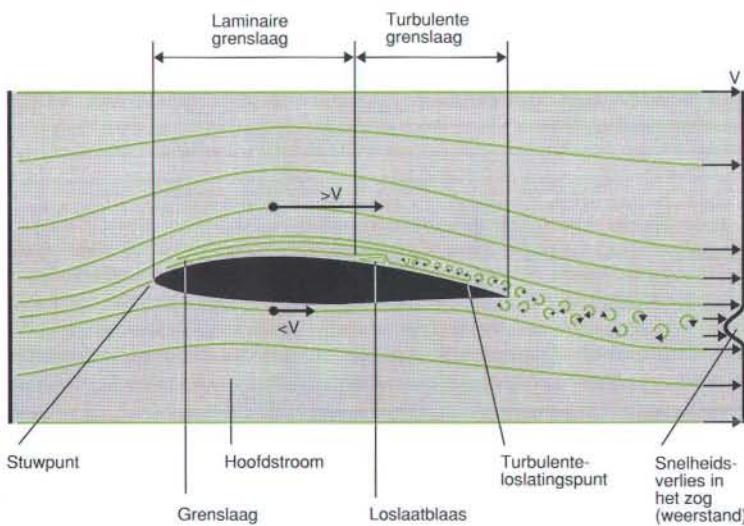
3

Zweven

Om te begrijpen hoe een zweefvliegtuig zweeft, moeten we de werking van een vleugelprofiel onder de loep nemen en daarbij vooral aandacht schenken aan de grenslaag (afb. I-1). We beschouwen een vleugel met een asymmetrische doorsnede. De voorwaartse snelheid v van het vliegtuig kunnen we ook zien als de snelheid waarmee een stabiele luchtmassa naar de vleugel toe stroomt. De vleugel kliert de luchstrom; een deel ervan gaat bovenlangs, de rest onderlangs. Om de boven- en onderkant van de vleugel ontwikkelt zich vanuit het *stuwpunt* (in de praktijk de voorste begrenzing van de vleugel) een zogenaamde *grenslaag*. Dat is een laagje lucht dat als het ware aan de vleugel kleeft en waarin de snelheid afneemt tot nul op het (stilstaande) oppervlak. Beide grenslagen vormen achter het profiel het *zog*.

De in afbeelding I-1 getekende stroomlijnen, zijn de banen die de luchtdeeltjes volgen. Op een bepaalde afstand boven en onder de vleugel worden de stroomlijnen niet meer beïnvloed. Het gebied tussen de rechte stroomlijnen en de grenslaag op de bovenkant van de vleugel werkt als een stroombuis. Door de vernauwing boven het dikste deel van de vleugel is de luchtsnelheid daar groter dan v . Volgens de wet van Bernoulli is $(p + \frac{1}{2}v^2)$ constant, waardoor een toename van de snelheid gepaard gaat met een afname van de druk. Vanaf het stuwpunt tot het punt waar de druk het laagst is, heeft de grenslaag een *laminair* karakter; de luchtdeeltjes stromen keurig parallel aan het profiel. De luchtwiderstand van de laminaire grenslaag is zeer laag.

Na het hoogste punt van de vleugel, waar de druk



I-1. Een vleugel kliert de toestromende luchtmassa, waarbij de snelheid boven de vleugel toeneemt en die eronder af. In de grenslaag neemt de luchtsnelheid af tot nul op de vleugel. Een laminaire grenslaag levert nauwelijks weerstand, een turbulent wel. Vooral de loslaatblaas, die ontstaat waar de grenslaag overgaat van laminair naar turbulent, draagt flink bij aan de weerstand van de vleugel.

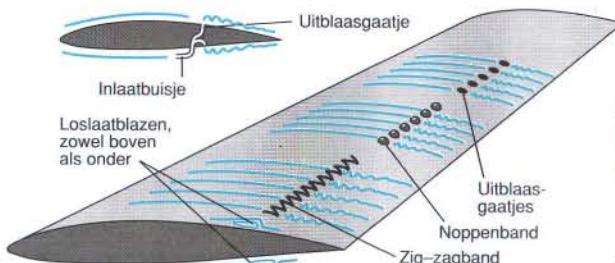
I-1

De ervaring en vliegtactiek van de piloot, het 'glijvermogen' van het vliegtuig en de aanwezigheid van goede thermiek bepalen uiteindelijk de snelheid waarmee het gehele traject wordt afgelegd. Gemiddelde snelheden van meer dan honderd kilometer per uur zijn daarbij geen uitzondering.

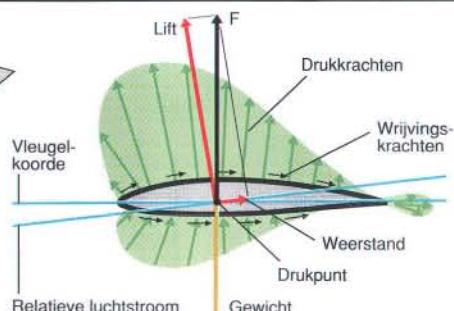
Om te bewijzen dat een piloot inderdaad de aangemelde vlucht heeft uitgevoerd, maakt hij voor de start een foto van een formulier met de relevante gegevens, ondertekend door een sportcommissaris. Tijdens de vlucht legt hij de

opgegeven keerpunten in de juiste volgorde vast. Deze foto's moeten zo worden genomen dat het keerpunt er vanuit de juiste richting op staat. Bovendien moet de naar het keerpunt wijzende vleugel erop zichtbaar zijn.

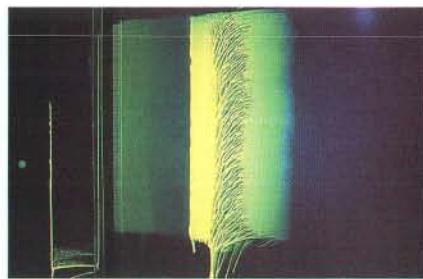
Na de landing wordt de laatste foto genomen. Daarop staat weer het vluchtfomulier, met de tweede handtekening van de sportcommissaris. De piloot ontwikkelt de film en stuurt die samen met het vluchtfomulier en een *vluchtreCORDING* naar de commissaris ter controle, waarna hij een aantal punten krijgt toege-



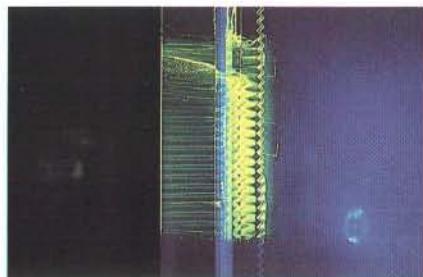
I-2



I-5



I-3

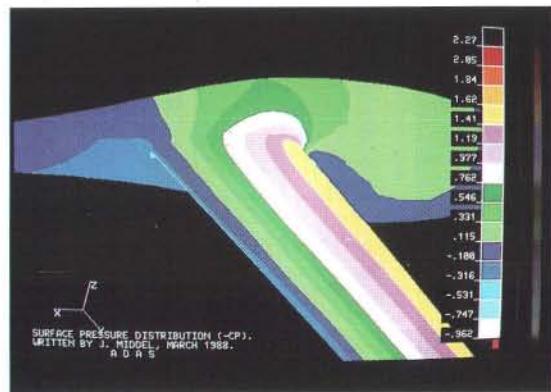


I-4

I-2, 3 en 4. Met diverse systemen kan men een loslaatblaas in de grenslaag voorkomen. In een windtunnel is de loslaatblaas op een verticaal geplaatste vleugel zichtbaar gemaakt met fluorescerende olie. Die loopt in de blaas naar beneden (I-3, de lucht komt van rechts). Zigzag-tape (I-4) verhindert het ontstaan van een loslaatblaas.

I-5. Tengevolge van de luchtstroom ontstaat over een vleugelprofiel een drukverdeling die resulteert in een liftkracht.

I-6. De berekende drukverdeling bij de vleugel-rompaansluiting van een ASW-24. Bij de neus van de aansluiting verandert de druk sterk over een korte afstand.





4

4. De ASW-24, een der modernste zweefvliegtuigen, in volle vlucht. Verreweg de meeste zweefvliegtuigen worden tegenwoordig in Duitsland en Polen gemaakt, terwijl de Technische Universiteit Delft een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van optimale vleugelprofielen.

INTERMEZZO ■■■

het laagst is en de snelheid het hoogst, volgt een toename van de druk. De laminaire grenslaag kan deze drukverhoging niet verdragen: zij laat los van het oppervlak en slaat vervolgens om in een *turbulente* grenslaag. Door de uitwisseling van energie met de buitenstroming is een turbulente grenslaag wel in staat een zekere drukstijging te overwinnen. Het gevolg daarvan is dat de turbulente grenslaag weer op het oppervlak gaat aanliggen en zo een losgelaten gebied, de zogenaamde *laminaire loslaatblaas*, afsluit. De turbulente grenslaag kan tenslotte, indien de drukstijging bij de vleugelachterrand te groot wordt, loslaten. Dat gebeurt bijvoorbeeld als de invalshoek toeneemt en het vliegtuig steeds langzamer gaat vliegen, zoals in het artikel ter sprake komt.

Een loslaatblaas veroorzaakt veel luchtweerstand en is daarom ongewenst. Bij moderne zweefvliegtuigen wordt het optreden van een loslaatblaas vermeden door op kunstmatige wijze de onvermijdelijke overgang van laminair tot turbulent op te wekken, maar dan wel op een plaats waar die overgang de minste weerstand veroorzaakt. Daarvoor wordt zigzagtape, tape met nopjes of een systeem met gaatjes waar een geringe hoeveelheid lucht uitstroomt, gebruikt. Elk middel heeft zijn eigen voor- en nadelen ten aanzien van effectiviteit en kosten.

Zoals we hebben gezien, heeft de snelheidstoename van de luchtmassa boven de vleugel een onderdrukgebied tot gevolg (afbeelding I-5). Omgekeerd ontstaat in de stroombuis onder de vleugel volgens de wet van Bernoulli een relatieve overdruk. In de grenslaag werken wrijvingskrachten. Druk- en wrijvingskrachten vormen samen een resulterende kracht, die aangrijpt in het drukpunt. Naast de vleugels leveren ook de romp en de staartvlakken een bijdrage aan de liftkracht en de weerstand; de resulterende kracht F is in evenwicht met het gewicht van het vliegtuig.

kend voor de gemiddelde snelheid tijdens de vlucht. Dit geheel kan in landelijk competitieverband gebeuren.

De vluchtreCORDING is een strook papier die het verloop van de vlucht weergeeft, een zogenaamd barogram. Dit papier wordt in de cockpit op een door een uurwerk aangedreven, ronddraaiende trommel gespannen. Een pen tekent daarop de luchtdruk als functie van de tijd. Omdat de luchtdruk afneemt met de hoogte, is het barogram tevens een registratie van de hoogte tijdens de vlucht.

Aan de hand van het barogram kan de sportcommissaris controleren of de vlucht zonder tussenlanding is volbracht. Overigens eindigt lang niet elke vlucht op de thuisbasis. Het ontbreken van thermiek of beslissingsfouten van de piloot leiden dikwijls tot een 'buitenlanding' op een akker of weiland. Het is dan de taak van de ophaalploeg om de gestrande piloot en zijn vliegtuig op te gaan halen. Het komt voor dat de ploeg enkele honderden kilometers moet afleggen.

De snelheidspolaire

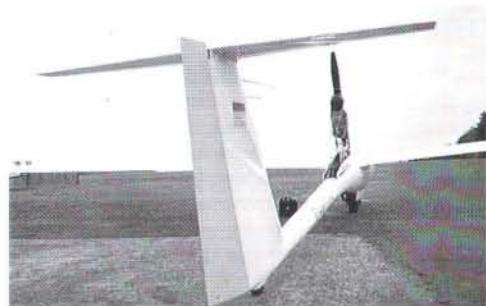
Als een vliegtuig zweeft, dan daalt het steeds ten opzichte van de lucht waarin het zich bevindt (zie Intermezzo). De horizontale afstand die een vliegtuig aflegt als het één meter daalt is het glijgetal. Als we de de daalsnelheid uitzetten tegen de vliegsnelheid v ten opzichte van de lucht, ontstaat een zogenaamde *snelheidspolaire* (afb. 7). Het gunstigste glijgetal van een vliegtuig vinden we daarin door vanuit de oorsprong een raaklijn aan de polaire te trekken. Met de bij het raakpunt behorende vliegsnelheid legt men de grootst mogelijke afstand af.

De top van de polaire geeft de vliegsnelheid aan waarbij de daalsnelheid het kleinste is. Let wel, deze vliegsnelheid is lager dan die van het beste glijgetal. Als we de vliegsnelheid verder verlagen dan wordt de invalshoek groter: de neus van het vliegtuig wijst wat meer omhoog. Het gevolg is dat de grenslaag aan de achterzijde van de vleugel loslaat (zie Intermezzo). De weerstand neemt toe, en bijgevolg ook de daalsnelheid. Bij afnemende vliegsnelheid wordt de invalshoek tenslotte zo groot dat het grootste deel van de grenslaag loslaat, met als gevolg dat de benodigde liftkracht niet meer kan worden opgebracht. Het toestel raakt 'overtrokken' en valt met de neus omlaag. Daarbij loopt de snelheid flink op en komt de hoofdstroom weer aan te liggen, zodat de piloot zijn vlucht kan vervolgen. Laag bij de grond is een overtrek natuurlijk gevaarlijk.

Een zweefvlieger wil graag een zo groot mogelijke afstand afleggen. Hij kan dat niet eenvoudigweg bereiken door een hoge vliegsnelheid te kiezen. Als de vliegsnelheid toeneemt, wordt immers ook de luchtweerstand groter,



5



6

waardoor de daalsnelheid snel toeneemt. De hoogste snelheid die een zweefvliegtuig kan bereiken, wordt overigens niet door de aerodynamische eigenschappen van het toestel bepaald, maar door de mechanische sterkte ervan. Bij elk type vliegtuig hoort dan ook een maximumsnelheid die de piloot om veiligheidsredenen nooit mag overschrijden.

Een zweefvliegtuig maakt bij een normale glijvlucht altijd een dalende beweging ten opzichte van de omringende lucht. Om hoogte te winnen zal de vlieger de opstijgende lucht moe-

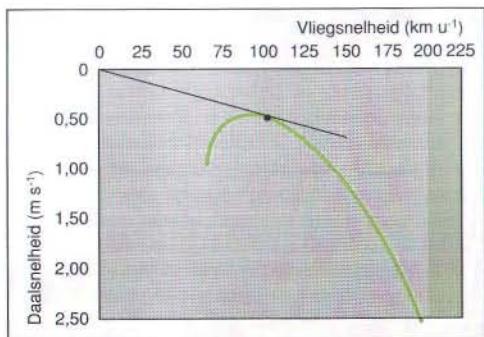
gang worden vastgelegd. De romp is eigenlijk een 'onrechtmatigheid' in de vleugel, die de ideale luchtfstroming verstoort.

6. Een motor met propeller biedt de zweefvlieger het voordeel dat hij bij gebrek aan thermiek niet hoeft te

landen, en zelf kan starten. Uiteraard mag tijdens de eigenlijke zweefvlucht de motor niet aan.

7. De snelheidspolaire geeft het verband tussen vlieg- en daalsnelheid. De laagste vliegsnelheid is die waarbij het toestel over-

trekt. De top van de polaire geeft de minimale daalsnelheid en het raakpunt aan een lijn door de oorsprong het beste glijgetal.

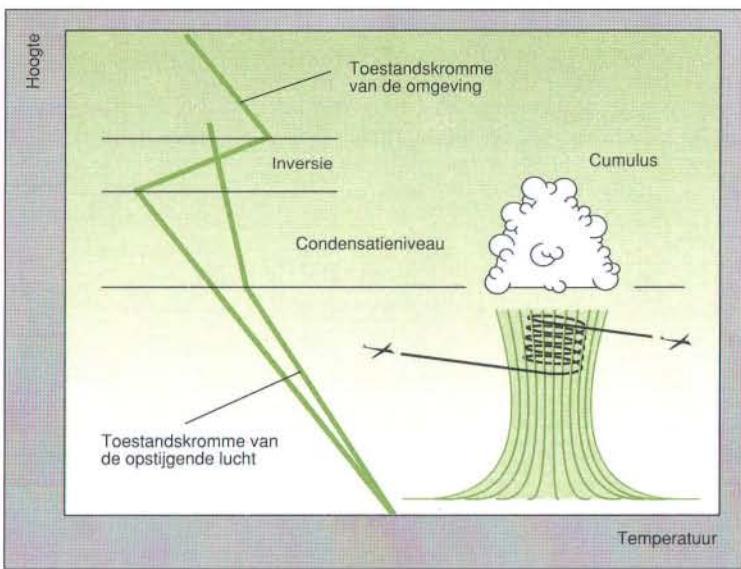


7



8. Thermiek ontstaat op plaatsen waar de zon, via het aardoppervlak, de lucht

kan verwarmen. De warme lucht stijgt op en koelt af vanwege de uitzetting die ze daarbij ondervindt. In vochtige lucht leidt die afkoeling tot wolkvorming.



8

ten benutten. De stijging ten opzichte van de grond is gelijk aan de stijgsnelheid van de luchtmassa min de daalsnelheid van het vliegtuig.

Hoogte winnen

Het klinkt misschien vreemd, maar een zweefvlieger kan alleen stijgen bij de gratie van het land, waaraan hij poogt te ontsnappen. Het zijn de structuren van het landschap — begroeiing, bebouwing, land of water en reliëf — die de opwaartse luchtstromingen veroorzaken waarin een zweefvliegtuig hoogte kan winnen.

De verschillende oppervlaktestructuren verwerken elk op hun eigen manier de kortgolvige stralingsenergie die ze ontvangen van de zon. De hoge warmtecapaciteit van water zorgt er bijvoorbeeld voor dat de ingestraalde energie er voor een groot deel in wordt opgeslagen, zonder dat lucht erboven warmer wordt. Ook een bos kan een groot deel van de ingestraalde energie opnemen, waardoor de lucht erboven nauwelijks wordt verwarmd. Droge zandvlakten reflecteren circa twintig procent van de straling, maar het zand zet de resterende energie om in warmte of zendt haar uit als infrarode

straling. Deze langgolvige straling verwarmt de bovenliggende lucht. Boven een stad of een dorp verwarmt de zon de lucht op een vergelijkbare manier.

Als de zon een tijd schijnt boven bijvoorbeeld zandvlakten, heidevelden en bebouwing, ontstaan daarboven luchtmassa's die warmer zijn dan de hen omringende lucht. Dit is een instabiele situatie: door hun lagere dichtheid zullen de warme luchtmassa's als grote *thermiekballen* opstijgen. Het vacuüm dat beneden dreigt te ontstaan wordt opgevuld door koude lucht die vanuit de omgeving toestroomt.

De hoogte die de thermiekballen uiteindelijk kunnen bereiken hangt af van het verticale temperatuurverloop in de lucht (afb. 8). De opstijging is een *adiabatisch* proces, dat wil zeggen dat daarbij vrijwel geen energieuwisseling tussen de bel en de omgeving plaatsvindt. Omdat de opstijgende massa lucht een steeds lagere luchtdruk ondervindt, zal ze uitzetten. Dit uitzetten kost energie, die bij een adiabatisch proces alleen uit de opstijgende massa zelf kan komen. De thermiekbel koelt daardoor af. Normaal daalt de temperatuur van de opstijgende lucht met één graad celsius per honderd meter.

Zolang de temperatuur van de omringende, stilstaande lucht sneller daalt met de hoogte, is de thermiekbel voortdurend warmer dan de omgeving. Dit houdt in dat de luchtmassa kan blijven stijgen tot ze op een warmere luchtlaag stuit. Zo'n warme luchtlaag uit zich als een 'knik' (inversie) in het verticale temperatuurverloop. Omdat de inversie de thermiekbellen opslokt, kan een zweefvliegtuig er niet 'op eigen kracht' bovenuit komen.

Profiteren van thermiek

Een thermiekbel kan 'nat' of 'droog' zijn. In droge thermiek is de hoeveelheid waterdamp zo laag, dat de lucht er bij afkoeling niet mee verzadigd raakt. Als de bel opstijgt, vindt er dus geen condensatie van waterdamp plaats en ontstaat er dus geen wolk. Deze thermiek wordt ook wel blauwe thermiek genoemd. Vindt er wel condensatie plaats, dan zal op een bepaalde hoogte waterdamp condenseren en wordt een cumulus ofwel stapelwolk gevormd. De hoogte waarop de wolkvorming begint is het condensatienniveau, bij zweefvliegers beter bekend als de wolkenbasis. De wolkenbasis is normaal gesproken de grootste hoogte die een zweefvlieger kan bereiken. In de wolk is de piloot na korte tijd zijn oriëntatiegevoel volkomen kwijt en zou hij over een blindvlieginstrumentarium moeten beschikken.

Het is voor een piloot veel gemakkelijker om natte dan om droge thermiek op te sporen. Bij natte thermiek markeert een cumuluswolk de top van een opwaartse stroom. Bij blauwe thermiek komt de ervaring van de piloot bij het inschatten van bodemstructuren goed van pas. Een variometer, een instrument dat reageert op luchtdrukverandering en zo aangeeft of het vliegtuig stijgt of daalt, is een belangrijk hulpmiddel om thermiek te constateren.

Een sleepvliegtuig brengt het zweefvliegtuig tot 500 m hoogte en zo mogelijk in de buurt van een thermiekbel. Eenmaal in een thermiekbel probeert de piloot het gebied met de sterkste opwaartse luchtstroom te vinden. In een spiraalsgewijze vlucht kan hij daar snel hoogte winnen. Nadat hij zo hoog mogelijk is geklommen, gaat de piloot in een rechtlijnige, dalende vlucht op weg naar een volgend 'hoogtetankstation'.

Om efficiënt te kunnen vliegen, maken wedstrijdvliegers gebruik van de zogenaamde

McCready-theorie, die aangeeft hoe de snelheid waarmee de piloot van de ene naar de andere thermiekbel vliegt, afhangt van de stijgsnelheid in de thermiek. De piloot profiteert daarbij dubbel van een hoge stijgsnelheid in de thermiek, omdat die ook een hoge 'doorsteek-snelheid' tot gevolg heeft. Zo legt hij het traject zo snel mogelijk af. De wind kan een voor- of een nadeel zijn voor de piloot. Heeft hij de wind tegen dan is zijn snelheid ten opzicht van de grond tijdens de doorsteek lager dan met rugwind en zal hij tijdens het hoogte winnen bemand nog teruggezet worden.

Hellingwind

Een van de grote zweefvliegpioniers was Otto Lilienthal. Hij maakte aan het eind van de vorige eeuw korte zweefvluchten vanaf een eigenhandig opgeworpen heuvel, waarbij hij dan tegen de wind in een aanloop nam en omlaag

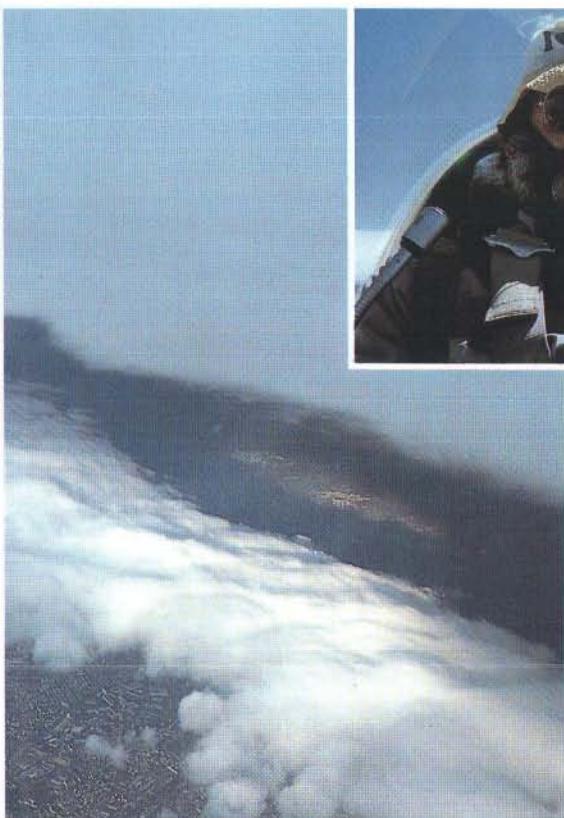


zweefde. Lilienthal benutte daarbij het verschijnsel *hellingwind*, de opwaartse luchstroem die ontstaat doordat een rimpel in het landschap de aanstromende lucht omhoog dwingt. We kunnen hellingwind benutten om hoogte te houden en zelfs om hoogte te winnen. Als een berghelling of duinenrij zo lang is dat de lucht er overheen moet stromen en er niet langs kan, ontstaat een stijgzone (afb. 8), waarvan omvang en kracht afhangen van het reliëfprofiel en de windsterkte. De zweefvliegers bij Castricum gebruiken bij sterke westenwind de duinenrij om bij aanhoudende wind urenlang voor de duintoppen langs te scheren. Als er in een bergachtig gebied voldoende hellingen zijn of meer haaks op de wind staan, dan kunnen er ook afstandsvluchten gemaakt worden. Soms dienen wolken (een wolk is een massa warme, vochtige lucht) als obstakel voor de wind, en kan men in de stijgwind voor de wolk hoogte winnen.

Golfvliegen

Als een gas (of een vloeistof) over een obstakel stroomt, ontstaat er een golf. Zwevers kunnen handig gebruik maken van het omhoogstromende deel van zo'n golf. Denk maar eens aan de meeuvens die schijnbaar moeiteloos uren achter een groot schip aan zweven, nauwelijks een vleugelslag makend. Zij maken gebruik van de golf die achter het schip in de lucht ontstaat. Hun hoogtewinst zetten ze echter onmiddellijk om in voorwaartse snelheid, zodat ze op gelijke hoogte het schip blijven volgen.

Boven land kan vooral achter een lange, rechte bergkam met een steile leizijde een stroomgolf ontstaan. De weergoden moeten daarbij wel een beetje meewerken, want er ontstaat alleen een mooie golf als de wind vrij krachtig is en ongeveer loodrecht op de bergkam staat. De toestromende luchtmassa moet naar boven regelmatig kouder worden, terwijl



10



11

9, 10 en 11. Tijdens een golfvlucht kan een zweefvliegtuig soms grote hoogten bereiken. De wolken die bij de eerste golf horen (9) werden tijdens zo'n vlucht gefotografeerd vanaf ca. 6000 m hoogte. Van rechtsboven naar linksonder zien we een lenticulariswolk op

de top van de golf, een rotowolk onder de golf en de Franse stad Clermont-Ferrand. Boven 4000 m hoogte moet de piloot met een zuurstofmasker vliegen (10). Het instrumentenpaneel (11) geeft ondermeer stijgsnelheid, vliegsnelheid en hoogte.

de windkracht moet toenemen met de hoogte. Thermiek kan deze stabiele opbouw van de atmosfeer, en daarmee de golf, verstoren. Een stralende dag met een staalblauwe hemel en een lekker windje is ideaal.

Een lucht die is opgeduwd na de passage van een bergkam, zal terugstromen naar het evenwichtsniveau. Vooral als de voet van de berg aan de leizijde lager ligt dan aan de loefzijde, kan er een prachtige golf ontstaan. Het nieuwe evenwichtsniveau van de lucht ligt dan immers lager dan het oorspronkelijke, en de lucht schiet door zijn snelheid flink door het evenwicht heen. De lucht gaat rond zijn evenwichtsniveau slingeren in een sinusvormige beweging die langzaam uitdooft.

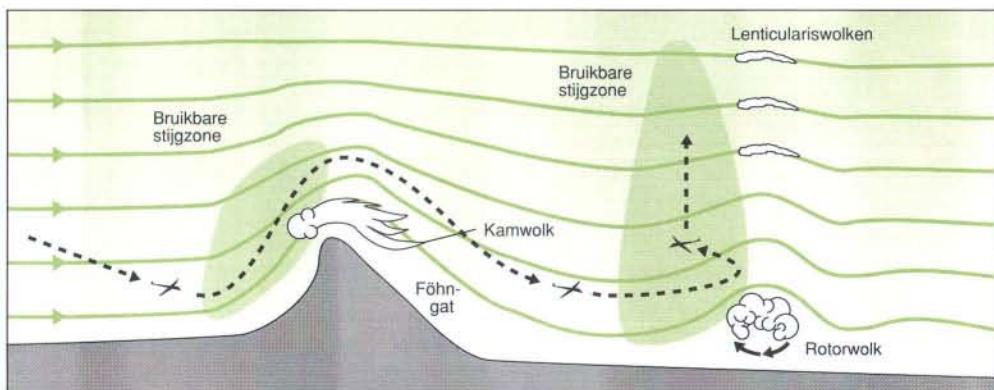
De eerste stijging van de lucht na passage van de kam is het sterkst. Omdat alle luchtdeeltjes dezelfde trilling uitvoeren, ontstaat er een fantastische stijgzone, waarin een zweefvliegtuig tot tien kilometer of hoger kan stijgen.

12. Tijdens een overlandvlucht boven de Franse Alpen werd deze foto genomen. Berggebieden kunnen prachtige combinaties van thermiek, hellings- en golfstijgzones bieden, maar het vereist veel ervaring om er veilig te kunnen vliegen.

13 en 14. De lucht die over een bergkam wordt gedwongen kan daarachter een golfsysteem veroorzaken. Voor zweefvliegers is dat ideaal, omdat zij in de golf een enorme hoogtewinst kunnen boeken. Het barogram (14) is een weergave van een golfsysteem tot bijna 7000 m hoogte. De snelle afval was noodzakelijk vanwege de buitentemperatuur op die hoogte: -42°C.



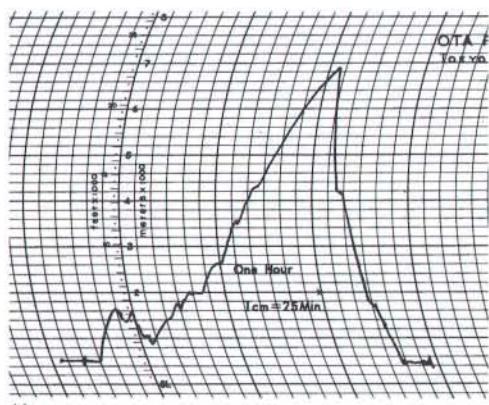
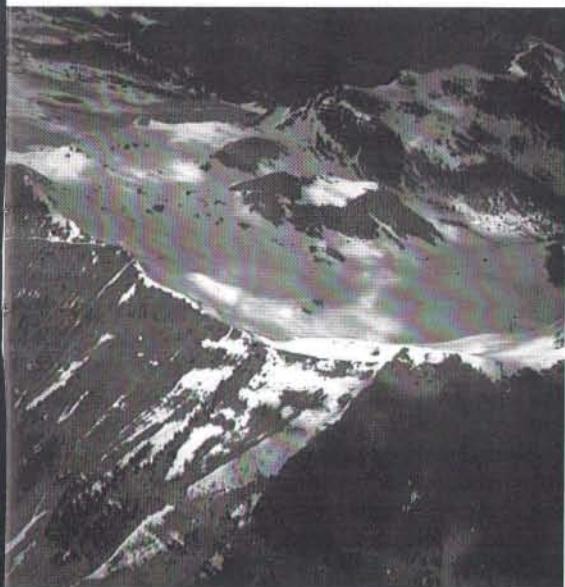
12



13

Evenals bij thermiek, kunnen we bij golven een onderscheid maken tussen 'nat' en 'droog'. Een droog golfsysteem is niet zichtbaar, maar een ervaren piloot kan het aan de wind- en terrenomstandigheden herkennen en er dankbaar gebruik van maken. Diverse markante wolken begeleiden een nat golfsysteem. Als de vochtige lucht wordt opgeduwd voor de berg kan een zogenaamde kamwolk ontstaan, waaruit neerslag kan vallen. Achter de berg daalt de lucht, waarbij die door de toenemende luchtdruk wat samengeperst wordt. De temperatuur

van de lucht loopt daardoor wat op. De opgewarmde lucht komt tot golven en trekt de onderliggende luchtmassa mee. Hierbij ontstaat een roterende beweging van de lage luchtmassa. In deze luchtmassa kan door condensatie in het hoge gedeelte van de rotatie een rotorwolk ontstaan. Tussen de berg met zijn kamwolk en de rotorwolk in ligt het föhngat. Een derde markante wolk is de lenticularis. Deze dunne, schijfsvormige wolken kunnen zich op de golftoppen vormen, uiteraard ook weer door condensatie van waterdamp.



14

Een golfvlucht

Voor het verloop van een golfvlucht is de plaats van het vliegveld ten opzichte van het golfsysteem van groot belang, omdat men hoofdzakelijk vanuit die richting het golfsysteem aanvliegt. Het onder zweefvliegers bekende vliegveld van Sisteron in Zuid-Frankrijk ligt op geringe afstand van een golfsysteem, in de vallei van de Durance. Ten westen van het vliegveld liggen, als obstakel voor de wind, een aantal opeenvolgende bergketens in oost-westelijke

richting. Tijdens de mistral ontstaat ten zuiden van de bergketens regelmatig een grote golf, aan de leizijde van de Lure. De vanuit het noorden toestromende lucht is al een aantal bergketens overgestoken en heeft daarbij telkens wat vocht verloren in de vorm van sneeuw of regen. Als de relatief warme lucht de Durancevallei instroomt, is ze vaak zo droog dat er helemaal geen wolken ontstaan.

Startend vanaf het vliegveld Sisteron gaat de sleepvlucht tot de Gache, een berg ten zuidoosten van het vliegveld, waar het ranke, witte vliegtuig in de hellingwind hoogte wint. Van hieruit kan de piloot in glijvlucht juist de noordkant van de Lure aanvliegen, waar hij in de hellingwind terechtkomt. In de hellingwind kan hij weer hoogte maken door voor de helling heen en weer te vliegen. Bij het bereiken van de maximale hoogte (ongeveer 2500 m) vliegt hij met de wind mee over de Lure. Hier voert de golf hem krachtig omlaag, waarbij een daalsnelheid van tien meter per seconde normaal is. Een weg terug is er niet, maar na zakken komt stijgen en zodra de variometer dat aanduidt draait de vlieger zijn toestel tegen de wind in. Hij past nu zijn snelheid zodanig aan dat die ten opzichte van de grond (in horizontale richting) nul is. Het vliegtuig blijft dus in de opwaartse stroom, waar de piloot zo optimaal gebruik van kan maken. Het toestel bereikt nu gemakkelijk een stijgsnelheid van vijf meter per seconde. Al na korte tijd bevindt de piloot zich boven de vierduizend meter en moet hij gebruik maken van een zuurstofmasker. Voor bijzondere prestaties, zoals een hoogtewinst van drie- of vijfduizend meter, kan een piloot een ereteken verdienen. De sensatie van zo'n vlucht is echter veel meer waard.

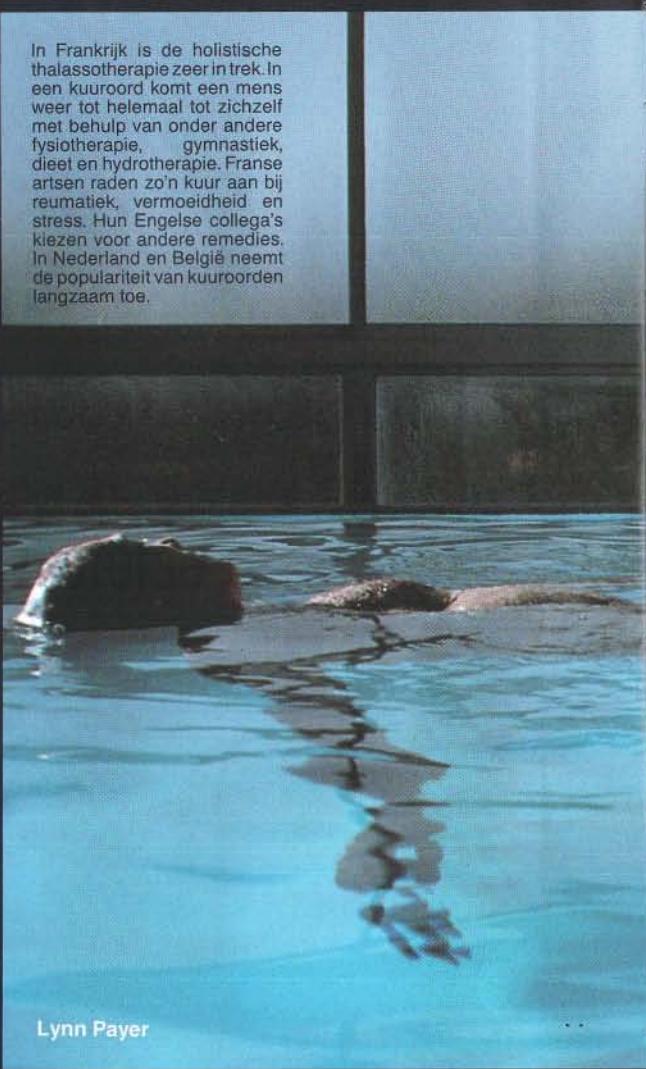
Bronvermelding illustraties

Claus-Dieter Zink, Schwieberdingen, D: pag. 412-413
Lage Snelheids Windtunnellaboratorium, Fac. der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, TU Delft: I-3, I-4, I-5 en 5
Peter Selinger, Stuttgart, D: 4 en 6
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Grensgevallen

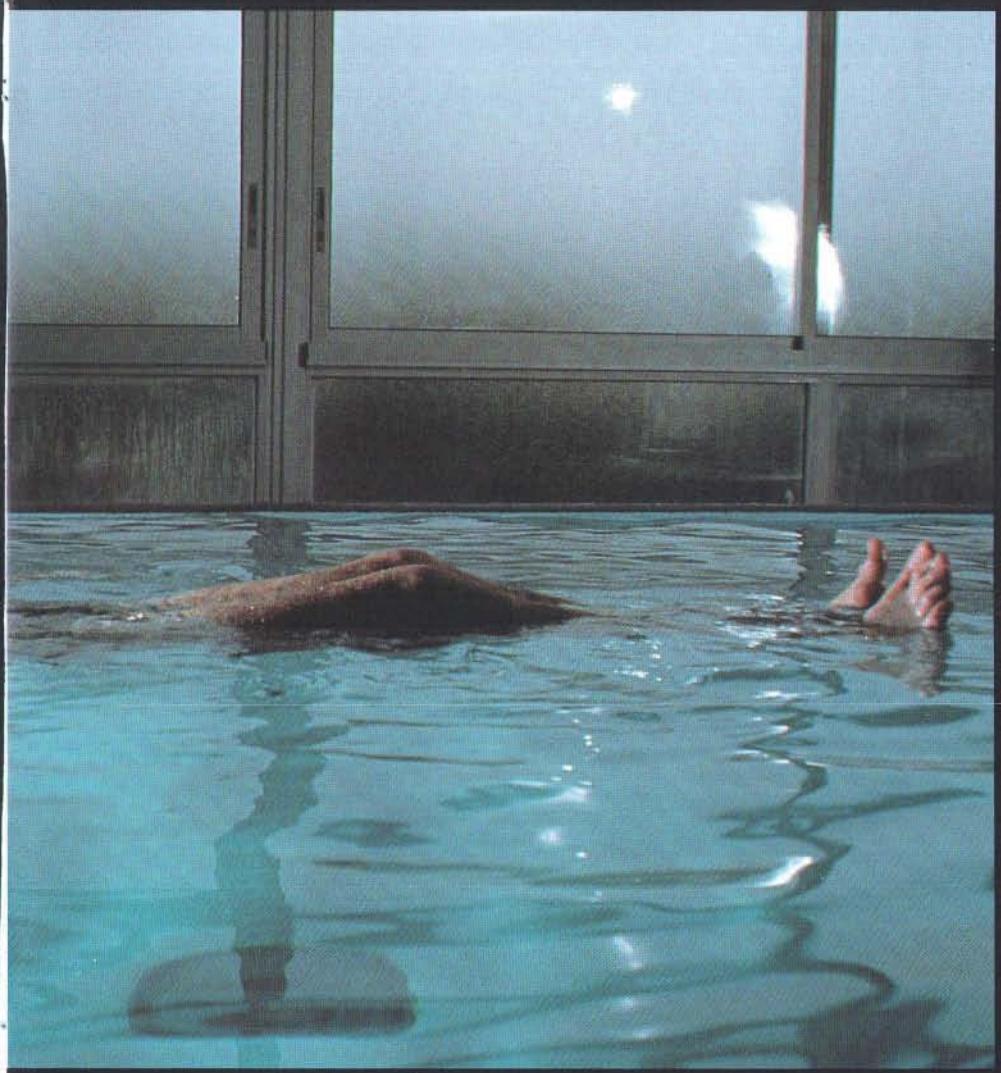
Marie R., een jonge vrouw uit Madagascar, begreep er niets van. Toen ze een Franse arts raadpleegde met klachten van hyperventilatie en angst, vermoeidheid en spiertrekkingen, vertelde hij haar dat ze leed aan spasmofylie leed, een ziekte die zou ontstaan door magnesiumgebrek. Hij schreef haar magnesium en acupunctuur voor, en vond de ziekte zo ernstig dat hij haar aanraadde naar haar ouders terug te gaan zodat die haar konden verzorgen. Maar toen Marie uiteindelijk naar de Verenigde Staten verhuisde, luidde de diagnose van de Amerikaanse artsen totaal anders. Al snel bleek haar dat Amerikaanse artsen spasmofylie niet kennen, alhoewel Franse artsen die diagnose tussen 1970 en 1980 steeds vaker stelden. In plaats daarvan kreeg Marie te horen dat angsten haar klachten veroorzaakten. Haar toestand verbeterde pas toen ze kalmerende middelen en psychotherapie kreeg. Nu lijkt ze genezen, al vraagt ze zich nog steeds af waarvan.

In Frankrijk is de holistische thalassotherapie zeer in trek. In een kuuroord komt een mens weer tot helemaal tot zichzelf met behulp van onder andere fysiotherapie, gymnastiek, dieet en hydrotherapie. Franse artsen raden zo'n kuur aan bij reumatiek, vermoeidheid en stress. Hun Engelse collega's kiezen voor andere remedies. In Nederland en België neemt de populariteit van kuuroorden langzaam toe.



Lynn Payer

Culturen in de westerse geneeskunde





1

Van oudsher beschouwt men de Westerse geneeskunde als een internationale wetenschap met duidelijke normen die men in heel West-Europa en Noord-Amerika op dezelfde manier hanteert. Marie's ervaring laat echter zien hoe de diagnostische tradities van Frankrijk en de Verenigde Staten, of die van bijvoorbeeld Engeland en Duitsland, in de praktijk lang niet zo universeel zijn als vaak gedacht. In 1967 bleek uit een onderzoek van de Wereldgezondheidsorganisatie, dat als artsen uit verschillende landen dezelfde overlijdensakte kregen voorgelegd, hun conclusies over de doodsoorzaak toch verschilden. Ook de diagnoses naar aanleiding van psychiatrische klachten lopen sterk uiteen. Tot voor enkele jaren zou een patiënt die in de VS schizofreen heette, in Engeland waarschijnlijk manisch-depressief of neurotisch noemen en in Frankrijk voor delusoir-psychotisch.

Westerse geneeskunden

Niet alleen diagnoses maar ook voorgeschreven behandelingen kunnen sterk verschillen. Artsen in Frankrijk en Duitsland schrijven talloze homeopathische middelen voor, die de meeste Amerikaanse artsen zouden afwijzen als ongepast bij een geneeskunde die is gebaseerd op wetenschappelijke kennis. Zelfs wat betreft het gebruik van op recept verkrijgbare medicijnen, zijn grote verschillen te constateren. Duitsers slikken bijvoorbeeld ongeveer zesmaal zoveel hartglycosiden of hart-stimulerende middelen als Fransen en Engelsen, maar slechts half zoveel antibiotica.

Onlangs heeft men onderzocht waarom artsen in Amerika bij hartafwijkingen bepaalde technieken — zoals bypass-chirurgie en angiografie, waarbij men het hart met behulp van een computer onderzoekt — in Amerika ongeveer

zesmaal zoveel toepassen als in Engeland. Bij een onderzoek moesten artsen uit beide landen aan de hand van ziektegeschiedenissen vaststellen wie uit een groep van patiënten in aanmerking kwam voor de genoemde behandelingen. Zelfs als men het kostenaspect buiten beschouwing liet, bleken de Engelse artsen toch twee- tot driemaal vaker dan de Amerikanen van mening dat de technieken voor bepaalde patiënten ongeschikt waren. Het veelvuldig toepassen van deze technieken in Amerika heeft blijkbaar niet zozeer met de kosten te maken, maar met wezenlijke verschillen in medisch denken.

Nu het jaar 1992 nadert, waarin de EG-landen alle handelsbarrières willen afschaffen, worden verschillen in diagnose en behandeling nog belangrijker. Met name blijkt het heel moeilijk om het eens te worden over welke geneesmiddelen straks in alle EG-landen op recept verkrijgbaar zullen zijn. In Duitsland moeten intraveneuze voedingsoplossingen een minimumhoeveelheid stikstof bevatten om de spierontwikkeling te stimuleren, maar in Engeland beschouwt men die hoeveelheid als giftig voor de nieren. In Frankrijk, waar vooral de lever al eeuwenlang in het centrum van de belangstelling staat, stellen de regelgevers meestal nadrukkelijk dat nieuwe medicijnen geen nadelige invloed op dit orgaan mogen hebben.

In wezen zijn de fundamentele verschillen tussen de diverse landen, terug te voeren op hun uiteenlopende en door cultuur bepaalde visies. Wil de economische eenwording van Europa kans van slagen hebben, dan zullen alle partners hun best moeten doen om deze verschillen beter te begrijpen. Maar ook de Amerikanen, die hun geneeskunde oorspronkelijk uit Europa hebben meegenomen, zouden zich de vraag moeten stellen: waar eindigt wetenschap en begint cultuur?

Klachten en kreislauf

Het belangrijkste kenmerk van de Duitse geneeskunde is misschien wel dat alles om het hart lijkt te draaien. Als een Duitse arts bijvoorbeeld iemands elektrocardiogram bekijkt, is hij sneller geneigd er een afwijking in te ontdekken dan zijn Amerikaanse collega. Als men criteria hanteert die in Duitsland gangbaar zijn, blijken vier op de tien mensen in een patiëntengroep afwijkende ECG's te hebben tegenover een op de twintig bij gebruik van Amerikaanse maatstaven. Als iemand in Duitsland over moeheid klaagt, luidt de diagnose vaak *Herzinsuffizienz*, een etiket dat ongeveer hartzwakte betekent. In Engeland, Frankrijk of de Verenigde Staten beschouwen artsen deze klacht in feite niet eens als een echte ziekte. Herzinsuffizienz



2

1. Tijdens de dagelijkse rondgang maken de artsen in een ziekenhuis een praatje met een patiënt. Hoe voelt hij zich vandaag en heeft de gekozen behandeling al effect?

2. Het toelaatbare stikstofgehalte van intraveneuze voedingsoplossingen kan bij de Europese eenwording nog een aardig onderwerp voor een internationale discussie vormen.



3

is op dit moment de meest voorkomende kwaal die de Duitse huisartsen behandelen.

Voor oudere Duitsers is het slikken van hartmiddelen zelfs een soort statussymbol, ongeveer zoals voor oudere Amerikanen juist het niet gebruiken van medicijnen iets is om trots op te zijn. Sommige Duitse artsen denken dat deze buitensporige belangstelling voor het hart een erfenis is uit de tijd van de Romantiek en de vele grote Duitse literaire meesters die met hartzaken worstelden. "Het is de bron van alles", schreef Johann Wolfgang Von Goethe in *Die Leiden des jungen Werthers*, "alle kracht, alle vreugde, alle verdriet." Zelfs in het moderne Duitsland ziet men het hart als meer dan alleen een mechaniek: het is een complex centrum van de emoties.

Gezien deze haast dwangmatige vooringenomenheid met het hart — en het daaruit voortvloeiende, wijdverbreide gebruik van hartgly-

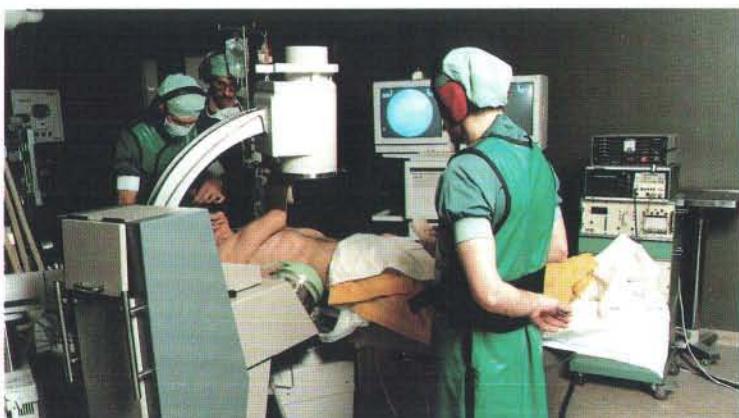
cosiden — valt des te sterker de terughoudendheid op waarmee Duitse artsen antibiotica voorschrijven. Niet alleen bij verkoudheid maar bij ernstige ziekten zoals bronchitis schrijven ze liever geen antibiotica voor. Op een lijst van de vijf meest gebruikte middelen tegen bronchitis zoekt men tevergeefs naar antibiotica. Zelfs als men in het laboratorium bacteriën aantreft in ontstoken weefsel, krijgt de patiënt pas antibiotica als men zeker weet dat deze bacteriën ook inderdaad voor de ontsteking verantwoordelijk zijn. Zoals een Duitse specialist uitlegde: "Als iemand zo ziek is dat hij een antibioticum nodig heeft, dan moet hij ook meestal naar het ziekenhuis."

Deze visie is in ieder geval gedeeltelijk te verklaren vanuit het werk van Rudolf Virchow, een medische onderzoeker uit de negentiende eeuw die het meest bekend is om zijn theorie dat nieuwe cellen alleen kunnen voortkomen

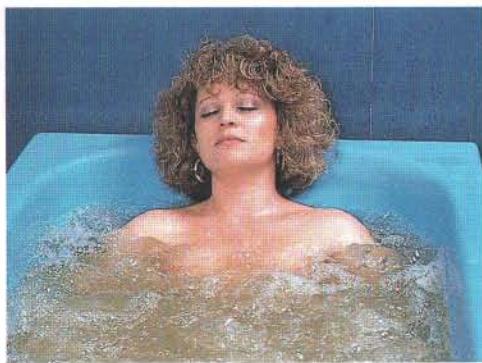
uit de deling van bestaande cellen. Virchow voelde weinig voor de theorie van Louis Pasteur dat bacillen allerlei ziekten veroorzaakten. In plaats daarvan benadrukte hij de bescherende rol van een goede bloedsomloop. Volgens Virchow waren veel ziekten, van slechte spijsvertering tot spierkrampen, terug te voeren op onvoldoende bloedvoorziening van de weefsels. Zijn invloed werkt in het algemeen nog sterk door: als iemand ziek is komt dat door een verstoerde inwendige balans en niet door indringers van buitenaf.

Het Franse terrain

Het denkklimaat dat vanouds in de Franse geneeskunde heerst, omschrijft men vaak als rationalistisch en sterk bepaald door de methodologie van de grote filosoof, René Descartes. Met één enkele zinsnede, *cogito ergo sum*, toverde Descartes met behulp van de rede het gehele universum vanuit zijn kamer tevoorschijn. De gedachte aan Descartes' onderneming vervult de Fransman met trots: elk Frans schoolkind wordt aangespoord om 'te denken



4



5

5. De hydrotherapie in een thalassa-instituut bestaat onder andere uit warme zwembaden, intensieve douches en het algenbad.

Ook fitness-training, sporten als golf of tennis en gastronomische maaltijden dragen bij aan het welbevinden van de kuurgast.

3. Hoe de werking van het hart verandert bij toenemende belasting kan de cardioloog aflezen op een elektrocardiogram. De interpretatie van de meetgegevens verschilt nogal van land tot land.

4. De echoscopie is een moderne, patiënt-vriendelijke techniek. Om een beeld te krijgen van wat hij mankeert, is het in sommige gevallen niet meer nodig om te snijden of te werken met röntgenstralen.

als Descartes'. In het buitenland staat het cartesiane denken echter minder hoog aangeschreven, omdat het vaak leidt tot een weliswaar knap uitgedachte theorie die echter gebaseerd is op geringe bewijzen. Nog niet zo lang geleden maakten Franse medici op een persconferentie bekend dat ze cyclosporine gebruikten voor de behandeling van aids — en dit terwijl ze niet langer dan een week naar slechts zes patiënten gekeken hadden. Amerikaanse journalisten en wetenschappers zouden hier minder vreemd van hebben opgekeken als ze geweten hadden dat in Frankrijk de bewijzen of het resultaat lang niet zo zwaar tellen als de verfijning van het verrichte denkwerk.

Net als in Duitsland schrijft men de ziekte niet zozeer toe aan een aanval van buitenaf, maar aan het falen van de inwendige verdedigingsmechanismen. Voor de Fransman zijn echter niet het hart of de bloedsomloop van

cruciaal belang voor de gezondheid maar het *terrain*, ruwweg te vertalen als het gestel of in modernere termen als een soort nonspecifieke immuniteit. Daarom is een groot deel van de Franse geneeskunde gewijd aan het opkrikken van dit terrain met behulp van versterkende drankjes, vitamines, medicijnen en bezoeken aan een kuuroord. Gemiddeld schrijft de Franse arts eenmaal per tweehonderd consulten een bezoek voor van drie weken aan één van de gespecialiseerde kuuroorden. Zelfs in de ogen van Pasteur de vader van de moderne microbiologie, was het terrain zonder meer van levensbelang: "Hoe vaak zien we niet gebeuren dat een gewonde door zijn gestel, zijn verzwakking, zijn geestesgesteldheid niet in staat is een voldoende sterke barrière op te werpen om het binnendringen van de oneindig kleine organismen te weerstaan?"

Deze nadruk op het terrain verklaart deels waarom Fransen zich minder om ziektekiemen bekommeren dan Amerikanen. Zij vinden hogere bacteriegehalten in voedsel aanvaardbaar, en zien geen reden om iemand met een vrij onschuldige infectieziekte niet te kussen: op deze manier in aanraking komen met mogelijke ziekteverwekkers beschouwen ze als een soort natuurlijke immunisatie.

Hoewel de Franse geneeskunde vaak probeert om het terrain als geheel te behandelen, concentreert men zich toch vooral op de lever als zijnde de bron van alle kwaad. Net zoals veel Duitsers zich nogal eens vastleggen op Herzinsuffizienz, schrijven veel Fransen hun klachten aan een 'zwakke lever' toe, of ze nu last hebben van hoofdpijn, hoest, impotentie, jeugdpuistjes of roos. Maar de laatste veertien jaar, na een persconferentie waarop Franse hepatologen de lever zuiverden van de blaam voor de meeste ziekten verantwoordelijk te zijn, is de *crise de foie* als diagnose grotendeels uit de mode geraakt. De galgangen hebben hun invloed echter nog niet helemaal verloren.

Voorzichtigheid troef

In tegenstelling tot hun Franse en Duitse collega's beproeven Engelse artsen hun krachten meestal op het bestrijden van uitwendige ziekte-oorzaken en totaal niet op het verbeteren van de bloedsomloop of het terrain. Versterkende drankjes, vitamines of een verblijf in een kuuroord schrijven ze amper voor, maar des te

6. De toekomstige geneeskundige behandeling van eventuele klachten van dit patiëntje is zeer cultuurgebonden, zelfs binnen de Westerse geneeskunde.

7. De productie van penicilline is een belangrijke poot van de farmaceutische industrie. De omzet is in een land als Engeland veel groter dan in Duitsland.



6

groter is de rol van antibiotica. De Engelse lijst van de twintig meest voorgeschreven medicijnen telt maar liefst drie groepen antibiotica, de Duitse top-twintig daarentegen niet één.

Ook staan Engelse artsen bekend om hun krengerige instelling bekend. De Fransen noemen hen daarom 'de boekhouders van de medische wereld'. De Engelsen schrijven ongeveer de helft aan medicijnen voor vergeleken met Franse en Duitse artsen, half zo vaak röntgenfoto's en als ze dat al doen gebruiken ze half zo veel film. De dagelijkse hoeveelheid vitamine C die ze aanbevelen is de helft van die in andere landen. Je moet er in Engeland algemeen gesproken veel slechter aan toe zijn om als ziek te gelden, laat staan om voor behandeling in aanmerking te komen. Zelfs als het verhoogde bloeddruk of cholesterolgehalte betreft, ligt de norm voor ziek of niet ziek in Engeland hoger. Veel Amerikaanse artsen geloven dat een onderdruk van meer dan negentig behandeld moet worden, maar een Engelse arts zal meestal pas ingrijpen als deze de honderd overschrijdt. En terwijl Amerikaanse artsen al medicijnen voorschrijven bij een cholesterolgehalte van 225 mg per deciliter bloed, overwegen ze in Engeland een dergelijke behandeling pas bij overschrijden van 300 mg.

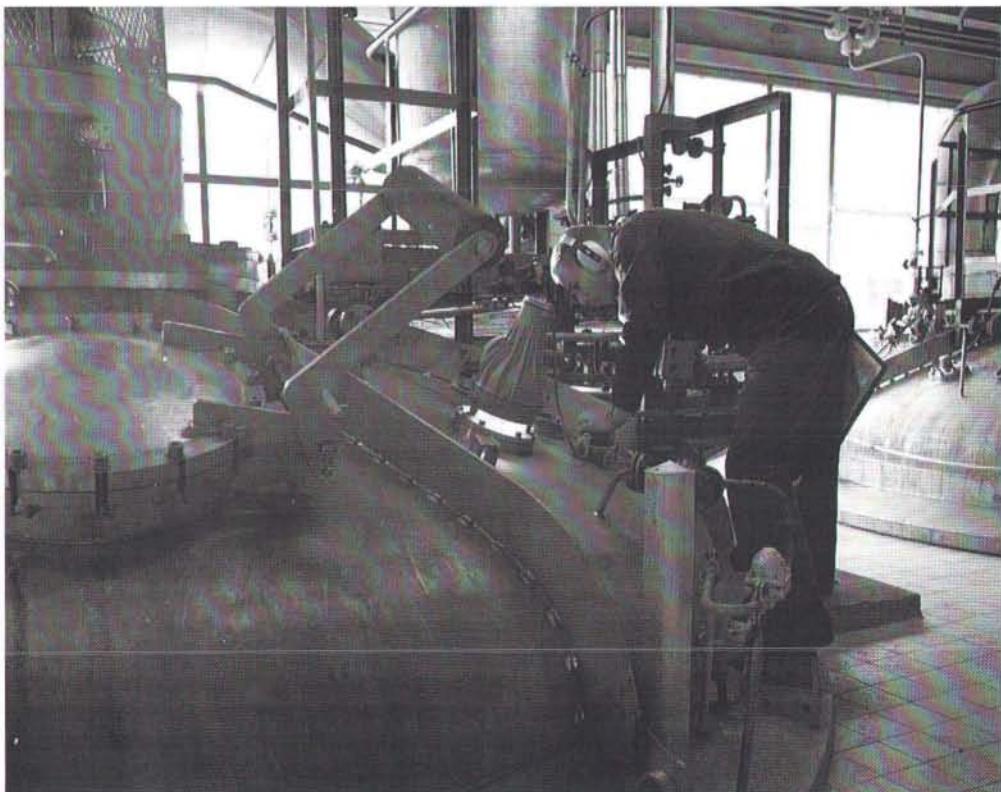
Voor een groot deel is deze spaarzaamheid een gevolg van de financiële structuur in de Engelse geneeskunde. Franse, Amerikaanse en Duitse artsen krijgen betaald na verrichting, en hebben dus financieel baat bij het voorschrijven van bepaalde behandelingen of het doorverwijzen van de patiënt naar een specialist. Engelse artsen ontvangen daarentegen een vast salaris of een vergoeding per patiënt, een constructie die overbehandeling ontmoedigt. Voor een Engelse arts is de ideale patiënt in feite iemand die hem slechts zelden raadpleegt en dus zijn werklast bij gelijkblijvend salaris vermindert.

Deze financiële constructie verklaart de sober instelling van de Engelse arts echter slechts gedeeltelijk. In navolging van de traditionele empirische werkwijze van filosofen als Francis Bacon, David Hume en John Locke, heeft men zich in Engeland bij medisch-wetenschappelijk onderzoek altijd toegelegd op het zorgvuldig verzamelen van gegevens uit statistisch verant-

woerde, vergelijkende klinische onderzoeken. Meer dan hun overzeese collega's zullen Engelse artsen in een klinisch onderzoek bijvoorbeeld placebo's gebruiken. Toen artsen in Amerika een onderzoek naar verhoogde bloeddruk ontwierpen, waren ze er zo van overtuigd dat zelfs een lichte verhoging moest worden behandeld, dat ze het onethisch vonden om bepaalde patiënten van behandeling uit te sluiten. Maar een Engels onderzoek naar licht verhoogde bloeddruk bevatte ook een placebo-groep, en in de conclusie werd wel behandelen als minder gunstig beoordeeld dan in het Amerikaanse onderzoek.

De agressieve aanpak

De Amerikaanse geneeskunde laat zich met één woord typeren: agressief. Deze benadering gaat ten minste terug tot de tijd van Benjamin Rush, een arts uit de achttiende eeuw en één van de ondertekenaars van de Onafhankelijk-



heidsverklaring. Volgens Rush vormde het feit dat men "al te zeer vertrouwt op de kracht van de natuur bij het genezen van ziekten" één van de grootste hinderpalen bij het ontwikkelen van de geneeskunde, iets waar hij Hippocrates de schuld van gaf. Rush geloofde dat het lichaam ongeveer dertien liter bloed bevatte — ongeveer tweemaal zoveel als in werkelijkheid — en spoerde zijn volgelingen aan vier vijfde hiervan bij hun patiënten via aderlating te verwijderen.

In wezen is er niet veel veranderd. In Amerika past men chirurgie vaker en uitgebreider toe dan elders: het aantal vrouwen waarbij de baarmoeder wordt verwijderd of die een keizersnede ondergaat, ligt minstens tweemaal zo hoog als in de meeste Europese landen. Voor bypass-operaties van het hart is dit percentage nog hoger. Amerikaanse artsen zijn zo dol op het woord agressief dat ze deze strijdlustige term zelfs toepassen op een conservatieve, defensieve behandeling. Toen deskundigen in 1984 te-

rugkwamen van hun eerdere aanbeveling om licht verhoogde bloeddruk met agressieve medicijnen te bestrijden, gaven ze niettemin als advies dat niet-medicamenteuze behandeling zoals aanpassing van dieet, lichaamsbeweging en gedrag, 'op agressieve wijze' moest worden nagestreefd.

Zinnig of niet, men voelt zich altijd gedwongen om iets te doen, zelfs als nog niet lang niet vaststaat of een bepaalde behandeling wel goed is voor de patiënt. Daarom zijn Amerikanen altijd 'in' voor iets nieuws, vooral als het gaat om nieuwe diagnostische tests en chirurgische technieken. (Nieuwe medicijnen komen niet zo snel op de markt, omdat ze eerst moeten worden goedgekeurd.) Natuurlijk kan een agressieve aanpak soms levens redden, maar vaak is het middel erger dan de kwaal. Tot voor kort gaven Amerikaanse hartspecialisten patiënten die na een hartaanval onregelmatige harslag vertoonden, medicijnen ter bestrijding van het verschijnsel. Ze waren bang dat als ze dat niet

8. Een angiograaf maakt opnamen onder diverse hoeken. Een computer verwerkt de beelden tot een driedimensionaal beeld.

9. Van operaties aan een hartklep kijkt niemand meer op. Voordat een techniek het experimentele stadium is ontgroeid, zijn er al

heel wat jaren verstrekken. Sommige behandelingen die elders zijn ingeburgerd, vindt men in Engeland te duur.

10. De integratie van de Oosterse acupunctuurtechniek met Westerse geneeskunde verloopt niet in ieder land even snel.





9



10

deden men dit als onethisch zou beschouwen en men hen misschien wegens nalatigheid voor de rechter zou slepen. Maar bij evaluatie van deze behandeling bleek uiteindelijk dat patiënten die twee van de drie medicijnen in kwestie gebruikten, meer kans hadden te overlijden dan de onbehandelde patiënten. Zo is ook nog nooit bewezen dat het langs elektronische weg controleren van de hartslag van het ongeboren kind ook werkelijk meer gezonde baby's oplevert. Sommige critici stellen zelfs dat het gebruik van elektronica vaker zal leiden tot een foutieve diagnose van afwijkingen bij de foetus en daarmee gepaard het onnodig verrichten van een keizersnede.

Medisch denken en handelen in de Benelux

Medisch denken en handelen varieert volgens dit artikel sterk tussen diverse landen, met name door verschillende cultuurgebonden visies op de wereld en de werkelijkheid. Maar zo'n conclusie is strijdig met de pretenties van het wetenschappelijk medisch model, dat immers voornamelijk uitgaat van universele kenmerken van het menselijk lichaam. De functies van menselijke organen en organismen worden universeel gezien. Zodoende is in wezen het medisch denken en handelen ook universeel. Het is dan ook interessant om te lezen dat de culturele verschillen die universalistische opvatting van de geneeskunde niet aan het wankelen brengen. Sterker nog: de verscheidenheid aan accenten in de genoemde landen blijft binnen het biomedische model. Ook wanneer bijvoorbeeld in Frankrijk méér dan in de Verenigde Staten de alternatieve geneeskunde, de homeopathie of het kuren en baden in het medisch behandellings- en verzekeringspatroon is opgenomen, bevindt men zich daarmee blijkbaar nog binnen hetzelfde biomedische, op abstractie en universaliteit gerichte model. De Benelux maakt daarop geen uitzondering.

Ook blijkt dat de geneeskunde niet alleen cultuureel varieert, maar tevens grotere grondpatronen van

waarden en normen omzet in betekenissen die denken en doen stempelen. De genoemde verschillen geven dan aan, dat het biomedische model een grote zekerheid biedt. Zal die zekerheid noodzakelijkwijs verminderen als waarden en normen in een samenwerking sterk uiteenlopen? Die vraag is voor de Benelux belangrijk. In religieus opzicht is er een rijke verscheidenheid en met name de spanning tussen Protestantisme en Rooms-katholicisme. Maar die verscheidenheid levert weinig verschil op in concreet medisch handelen, net zo min als economische spanningen en verschillen binnen de Benelux dat medisch handelen direct beïnvloeden. Politiek is er een voortdurende rivaliteit tussen socialisme en christendemocratie, maar ook die resulteert niet in manifeste betekenisverleningen in het medisch denken en handelen. Het biomedisch model blijft het omvattend kader.

Dat wordt nog versterkt door een zeer functionele opvatting van het recht en samen daarmee een ruim functionerend verzekerswezen. De term 'volksgezondheid' staat in de Benelux hoog in de maatschappelijk en politieke waardering. Van grote invloed zijn daarbij de positieve waardering van alternatieve geneeskunde, homeopathie, ecologische

Zelfs als blijkt dat de voordelen van een behandeling bij een bepaalde groep opwegen tegen de nadelen, zijn Amerikaanse artsen meer dan anderen geneigd de gunstige resultaten door te trekken naar patiëntengroepen waarvoor deze verhouding nog allerminst vaststaat. In Amerika schrijven artsen aan sero-positieve mensen nu AZT voor. Sommige artsen gaan echter nog verder en geven het middel ook aan vrouwen die zijn verkracht door iemand met onbekende HIV-status, dus aan een groep die slechts een kleine kans op besmetting heeft. Of de behandeling nu geschiedt op aandringen van de patiënt of van de arts, de onuitgesproken gedachte erachter blijft dezelfde, namelijk dat het beter is om iets te doen dan niets.

In tegenstelling tot Fransen en Duitsers hebben de Amerikanen geen bepaald orgaan waar ze hun kwalen aan toeschrijven — misschien omdat ze zichzelf liever zien als van nature gezond. Bij het lezen van de overlijdensberichten valt op dat niemand ooit aan iets 'natuurlijks' sterft; er is altijd één of andere oorzaak van bui-

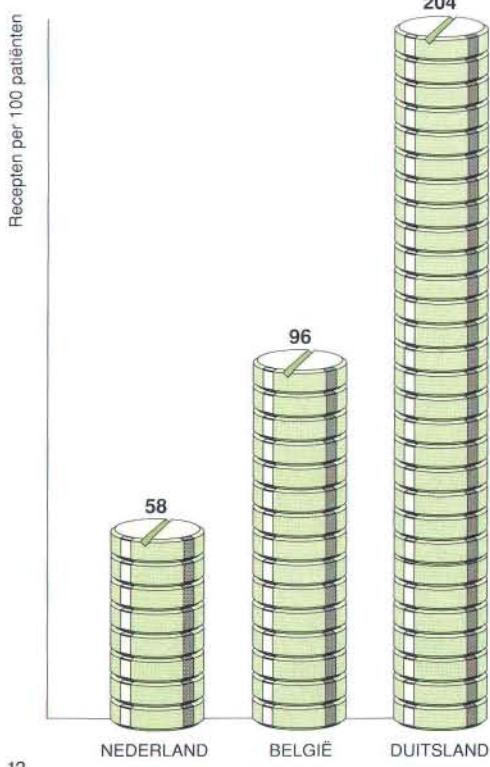


INTERMEZZO

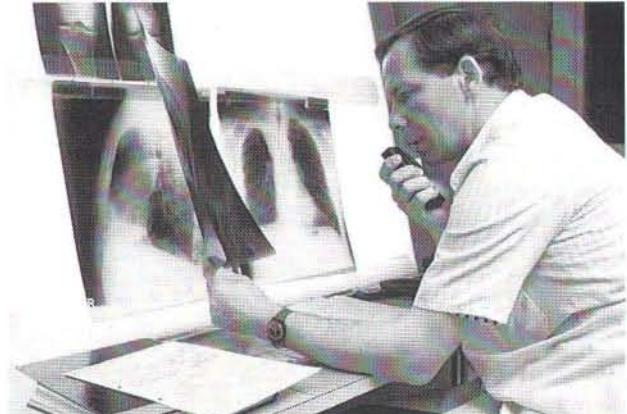
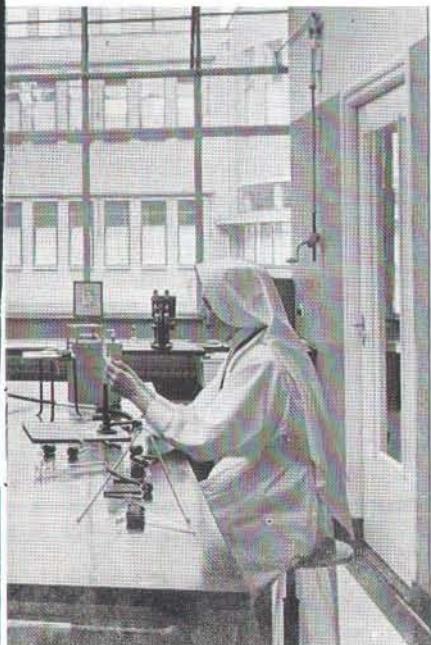
perspectieven en de aandacht voor een 'gezond leven'. Let wel, dat versterkt de positie van het biomedische model eerder dan dat het tot verzwakking ervan leidt. Specifieker zijn in de Benelux wellicht de zelfmedicatie, of de aarzelng in het gebruik van de term 'ziek(te)' zelf. Vragen blijven zoals: raadt een huisarts in Nederland minder vaak een chirurgische ingreep aan dan in België en hoe verhouden beiden zich tot hun collega's in de Verenigde Staten of Duitsland? Om dat na te gaan zouden we minder grove onderzoeks categorieën moeten gebruiken dan het artikel doet. Is het Franse medische denken en handelen gesofisticeerd, het Amerikaanse agressief en het Engelse universalistisch, dan zullen we medisch denken in de Benelux eerder evenwichtig of steeds strevend naar evenwicht kunnen noemen, zowel wat betreft de handeling, het er achter liggende denken en de omkaderende verzekering.

Prof dr J. Broekman

Vrije Universiteit, Amsterdam
Katholieke Universiteit Leuven



12



13

11. Veel ziekenhuizen in Nederland en België hebben een protestantse of katholieke achtergrond. Dat heeft nauwelijks invloed op de behandeling. Tegenwoordig lijkt religie in de gezondheidszorg enkel een grote rol te spelen als omstreden kwesties als euthanasie aan de orde komen.

12. Een Belgische huisarts is scheutiger met recepten dan zijn Nederlandse collega. Een Duitse patiënt heeft heel wat meer te slikken.

13. Als een röntgenfoto geen duidelijke afwijking laat zien, kan de achtergrond van de arts bepalend zijn voor de interpretatie.

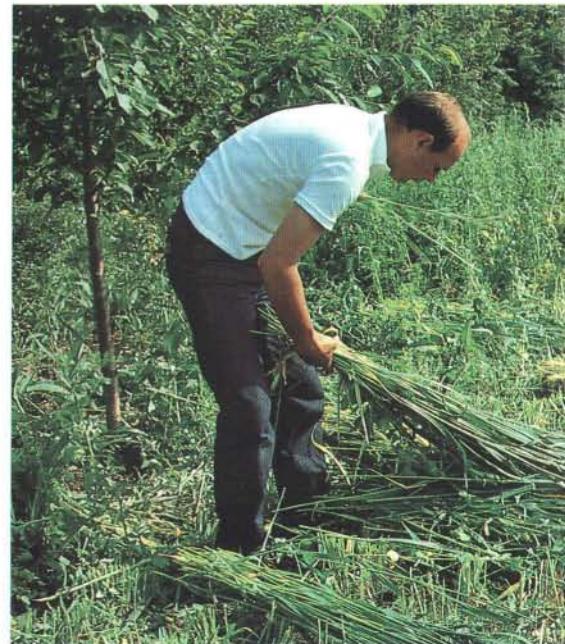


14

14 en 15. Fytotherapie en homeotherapie zijn geneeswijzen die in West-Europa langzaam terrein winnen. Bij fytotherapie gebruikt men plantenextracten. Sommige recepten zijn al eeuwenlang bekend. Homeotherapeutische medicijnen zijn eveneens gebaseerd op plantenextracten. Bij de bereiding van deze geneesmiddelen is het juiste schudden en verdunnen van oplossingen zeer belangrijk (14). Uiteindelijk resulteert dit in een geneesmiddel waarin met moderne chemische analysemethoden geen werkzame bestanddelen zijn aan te tonen.

tenaf. Op dezelfde manier ontstaat een ziekte ook altijd door iets wat van buitenaf is binnengedrongen. Een Franse arts heeft eens gezegd dat Amerikanen alleen maar bang zijn voor bacillen en communisten. De bacillen-mentaliteit verklaart gedeeltelijk waarom men in de VS zo veel antibiotica gebruikt. Amerikaanse artsen blijken ongeveer tweemaal zoveel antibiotica voor te schrijven als Schotse. Ook verstrekken Amerikanen regelmatig antibiotica voor kwaaltjes zoals oorpijn bij kinderen, een behandeling die men in Europa als misplaatst beschouwt. Deze overdreven angst voor bacillen is ook verantwoordelijk voor de puriteinse opvattingen over hygiëne die bij Amerikanen leven: de dagelijkse reinigingsrituelen, het koste wat kost vermijden van iemand met een ongevaarlijke infectieziekte en de pogingen om mensen met ziekten waarvan bekend is dat ze alleen via intiem contact overdraagbaar zijn in quarantaine op te sluiten.

Amerikanen zien ook weinig heil in de Europees opvattingen over inwendige balans. Ze



15

beschouwen stoffen zoals zout, vet en cholesterol vaak als een kwaad zonder meer, zelfs al zijn ze voor een goede gezondheid onontbeerlijk. Zo laat een recent Amerikaans onderzoek zien dat als men de sterftecijfers voor mannen uitzet tegen hun cholesterolgehalte, de laagste cijfers voorkomen bij een gehalte van 180. Bij een hoger of lager cholesterolgehalte stijgt het sterftecijfer. Een laag cholesterolgehalte houdt mogelijk verband met een verhoogde kans op kanker en zelfs zelfmoord, maar toch zijn Amerikanen er meestal trots op als het gehalte van deze stof in hun bloed laag is.

Uit het feit dat er verschillende en florerende medische systemen in de diverse landen bestaan, kunnen we opmaken dat de geneeskunde lang niet zo'n internationaal geldige wetenschap is als men vaak denkt. Misschien zal ze dat ook nooit worden. Medisch onderzoek kan weliswaar aangeven wat voor gevolgen een bepaalde procedure waarschijnlijk heeft, maar de conclusie of deze gevolgen wenselijk zijn of niet komt pas tot stand als de informatie door een raster van culturele waarden is gefiltreerd. Dit hoeft geen nadeel te zijn. Veel deelnemers aan een recent symposium waren het er nadrukkelijk over eens dat men de verschillende medi-

sche tradities in Europa niet op één grote hoop moet gooien om een eenheid te forceren. Helaas zien de meeste medici de rol over het hoofd die culturele waarden bij hun besluitvorming spelen, met alle nare gevolgen van dien.

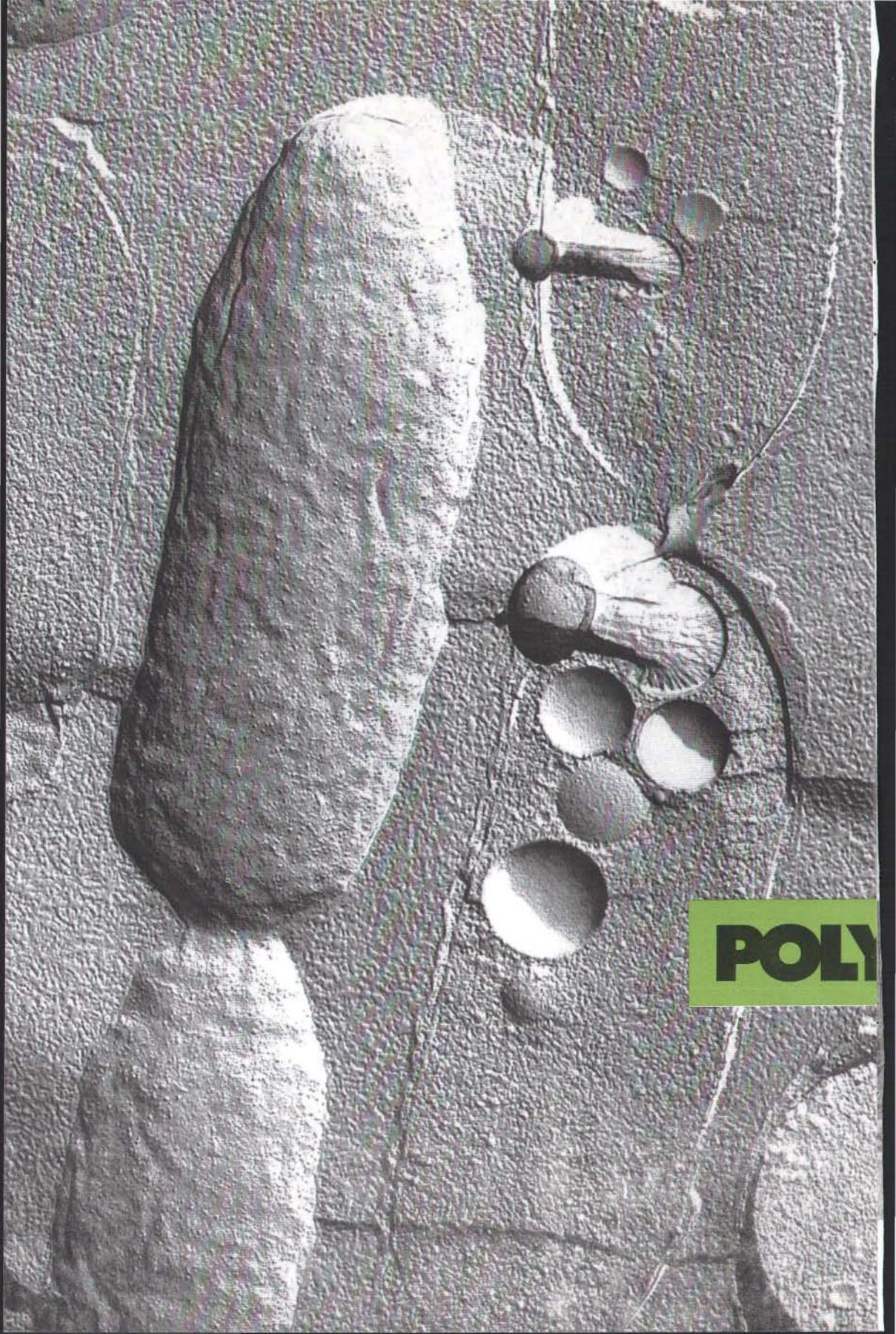
De verschillende manieren waarop men de geneeskunde in de Westerse landen bedrijft vormt een soort natuurlijk experiment, maar omdat slechts weinig mensen zich hiervan bewust zijn, verzamelt niemand de rijke schat aan gegevens die het experiment kan verschaffen. Wat voor effect heeft bijvoorbeeld het veelvuldig voorschrijven van magnesium bij spasmofylie in Frankrijk en bij hartziekten in Duitsland? En kort nadat het bloeddrukverlagende middel Selacryl in de VS op de markt verscheen, overleden een paar dozijn mensen aan levercomplicaties die de artsen aan het preparaat toechreven. Maar in Frankrijk kende men Selacryl al enkele jaren. Waren hier dezelfde bijwerkingen over het hoofd gezien en toegeschreven aan de zwakte van de Franse lever? Doordat medici van verschillende landen niet beseffen dat ze uiteenlopende waardesystemen hanteren, laten ze misschien schitterende kansen onbenut om gezamenlijk de geneeskunde een stapje verder te helpen.



Dit verhaal verscheen oorspronkelijk in 1990 in het juli/augustusnummer van *The Sciences*, een uitgave van de New York Academy of Sciences. Het werd voor ons vertaald door drs A. Veerman uit Amsterdam.

Bronvermelding illustraties

Institut de Thalassotherapie, Port le Barcarès, F:
pag. 424-425, 5.
Audiovisuele dienst, Academisch Ziekenhuis Maastricht:
1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13.
Gist-Brocades, Delft: 7.
Nederlandse Vereniging voor Acupunctuur,
Amersfoort: 10.
Biohorma Beheer BV, Elburg: 14, 15.



POLY



NATUURLIJKE KUNSTSTOF

Spaarzaamheid is een deugd. In barre tijden maken zij die sparen betere kansen dan zij die verkwisten. Onze voorouders wisten dit, en vonden het zo belangrijk dat zij het hebben vastgelegd in de Bijbel en in de Koran. Ook de Natuur weet het. De hamster is hiervan het vlees geworden symbool en in de fabels van Jean de la Fontaine wordt de mier erom geroemd. Op het niveau van cellen is het niet anders, en worden kleine molekülen aaneengeregen en als polymeren opgeslagen. De mensheid benut dergelijke biopolymeren, zoals zetmeel en rubber. In de natuur kunnen deze polymeren ook weer worden afgebroken. Als we bacteriën zouden aanzetten tot het maken van nieuwe polymeren, kunnen we wellicht de plastics die we nu gebruiken vervangen door biologisch afbreekbare kunststoffen.

ESTER UIT BACTERIËN



Bernard Witholt, Gjalt Huisman en
Hans Preusting

Biochemisch Laboratorium,
Groningen Biotechnology Center

In een elektronenmicroscopische opname van *Pseudomonas oleovarans* zijn paddestoelachtige structuren zichtbaar. De bacterie bleek octaan te kunnen omzetten in een 'kunststof'.

In tijden van overvloed, kunnen cellen grote aantallen molekülen covalent aan elkaar koppelen. De zo gevormde biopolymeren slaan ze op in een soort korrels die zich in de cel bevinden. Op deze wijze bewaart een cel niet alleen koolstof en eventueel stikstof, fosfor of zwavel, maar ook energie. In tijden van schaarste kan de cel naar wens gebruik maken van de opgeslagen stoffen en de daarin verborgen bindingsenergie. Plantecellen verzamelen aldus glucose in de vorm van zetmeel en dierlijke cellen maken glycogeen. Ook vele gisten en bacteriën zijn in staat om suikers, eenvoudige koolwaterstoffen, aminozuren, sulfaten of fosfaten te polymeriseren en op te slaan.

De mensheid benut deze polymeren. Zo winnen we zetmeel uit aardappelen en mäis, zuiveren het op grote schaal en veranderen het voor diverse toepassingen in levensmiddelen en als industrieel polymer (afb. 3). In de afgelopen vijf jaar zijn andere in Nederland de eerste pogingen gedaan om zetmelen al in de cel te veranderen. Dit lijkt te lukken. Waarschijnlijk kunnen we in de toekomst reeds in de cel enkele zetmeelderivaten laten maken die nodig zijn voor specifieke industriële toepassingen. Dit zal leiden tot verdere integratie van landbouw en chemie en derhalve tot toename van het belang van de agrochemie.

Sinds 1980 onderzoekt men ook bacteriën die polyfosfaten vormen. De onderzoekers hopen dat deze bacteriën fosfaten uit afvalwater kunnen verwijderen. Een interessante toekomst lijkt weggelegd voor bacteriën die sulfaat kunnen polymeriseren tot polysulfaat. Misschien blijkt het mogelijk zulke bacteriën zwavel en sulfaten te laten polymeriseren die voor-

voedselindustrie en bij olieborgingen. Een nieuwe toepassing is de landbouw. Zo kan bij windkracht 8 door winderosie 50 ton grond (en mest en zaad) per hectare verloren gaan (a). In plaats van mestvocht, met alle nadelen van dien, kan de landbouwer ook een zetmeeloplossing over de pas beplante akkers sproeien om deze erosie te voorkomen (b).

3. Zetmeel is een afbrekbaar, natuurlijk polymer, dat wordt toegepast in de



1

komen in delfstoffen als erts en kolen en olie. Daarmee zou men kunnen verhinderen dat deze zwavelverbindingen bij verbranding of andere industriële processen vrijkomen in het milieu.

Een natuurlijk polyester

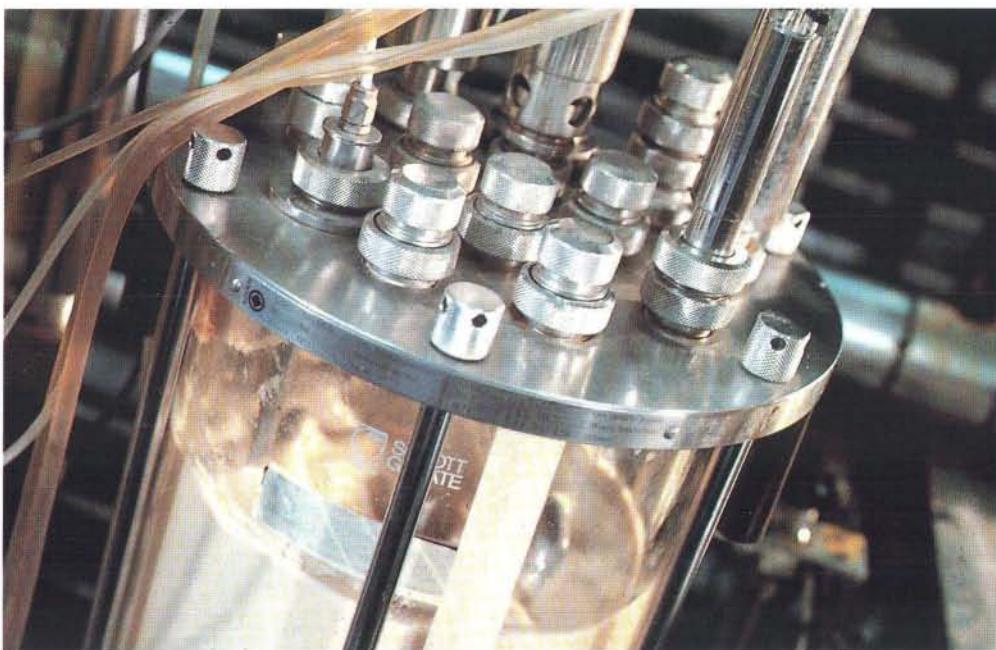
Carbonzuren met een hydroxylgroep zijn de bouwstenen of monomeren in polyesters. De monomeren zijn in de kunststof aan elkaar ge-



3a



3b



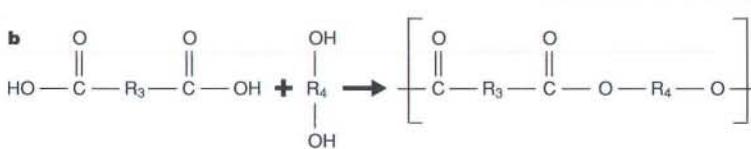
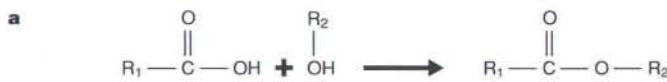
2

koppeld via een esterbinding. Een voorbeeld van een eenvoudige ester is bijvoorbeeld ethylethanoaat (ook wel ethylacetaat genoemd), een verbinding die ontstaat bij de reactie tussen ethanol en azijnzuur.

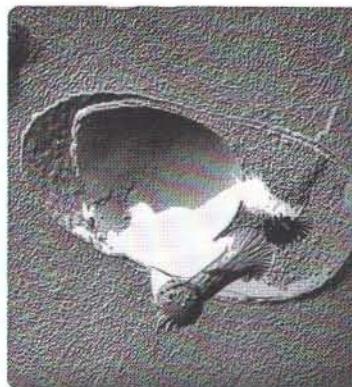
Sommige bacteriën blijken polymeren te kunnen maken die qua chemische structuur lijken op industriële polyesters. De afgelopen tien jaar zijn de bacteriële poly-hydroxy-alkanoaten (PHA's) intensief onderzocht. Sommige bacteriën produceren meerdere PHA-varian-

ten, waardoor *bioplastics* met verschillende eigenschappen ontstaan. De bacteriën die biopolyesters maken zijn ook in staat deze af te breken.

In 1926 werd in de bacterie *Bacillus megaterium* een polymeer aangetroffen dat, naar later bleek, was opgebouwd uit monomeren van 3-hydroxyboterzuur. In de jaren zeventig, toen men zich zorgen ging maken over de omvang van de wereldolievoorraad, kwam dit natuurlijke polyester, poly-3-hydroxyboterzuur of PHB,

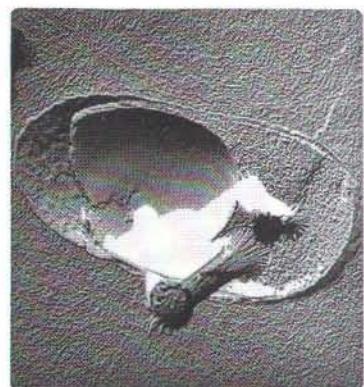


4. Een ester ontstaat bij de reactie tussen een vetzuur en een alcohol (a). Veel industriële polyesters worden gevormd uit twee verbindingen, namelijk di-alcoholen en divetzuren, die een keten vormen (b). Een polyester kan ook ontstaan door polymerisatie van een verbinding die zowel een hydroxylgroep als een carbzure groep bevat (c).



5

5. Veel mensen kunnen met deze stereo-opname de ruimtelijke structuur van de bacterie *Pseudomonas oleovorans* en het gevormde polyester waarnemen. Daartoe plaatst men een vel papier tussen de afbeeldingen en bekijkt men deze vanaf ongeveer 20 centimeter.



in de belangstelling te staan vanwege mogelijke commerciële toepassingen. De Britse multinationale ICI maakt thans honderden tonnen poly-3-hydroxyboterzuur per jaar met behulp van het organisme *Alcaligenes eutrophus* (afb. 1 en 2). Daartoe kweekt men deze bacterie op glucose, waarmee dus een 'groene' grondstof verandert in een biologisch afbreekbaar plastic. Het PHB dat de bacterie ophoort, dient als reservestof, zoals dat ook het geval is met vetten en glyco-geen bij dieren en met zetmeel bij planten.

Beperking van stikstof en fosfor

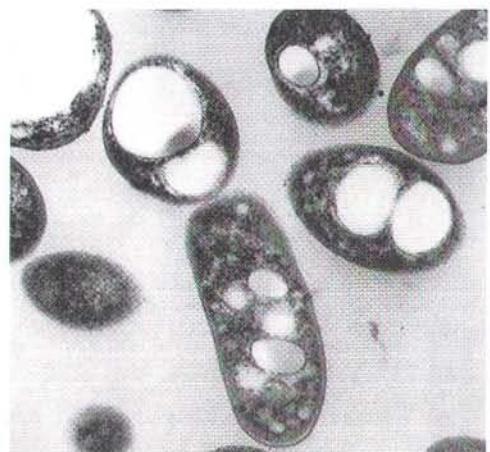
We kunnen bacteriën aanzetten tot het opslaan van polymeren, door ze enkele voedingsstoffen te onthouden. Om te kunnen groeien en delen, moet een cel eiwitten, DNA en RNA kunnen maken. Wanneer een essentieel element zoals stikstof slechts in beperkte mate aanwezig is, kan de bacterie geen aminozuren maken, aangezien elk aminozuur minstens één stikstofatoom bevat. De vorming van aminozuren komt tot stilstand. Hierdoor kunnen geen eiwitten meer worden gemaakt, want deze bestaan uit aminozuren. Een soortgelijk probleem geldt bij een fosfortekort: nucleotiden bevatten fosfor en worden dus niet gemaakt als cellen geen fosfor in de omgeving vinden. Zonder nucleotiden

kunnen bacteriën (en andere cellen) geen DNA en RNA maken.

Zo'n cel die geen eiwitten, DNA of RNA maakt, kan echter wel suikers opnemen en kan deze ook ophopen door er polysachariden (zetmeel, glycogeen) van te maken. Een cel kan ook koolwaterstoffen opnemen, zoals alkanen, alkanolen en alkaanzuren, en deze omzetten in monomeren die aan elkaar worden geregen tot polyesters zoals polyhydroxyboterzuur en andere polyhydroxy-alkanoaten.

Een korte geschiedenis

Er is een groot verschil tussen de manier waarop organische syntheses in een laboratorium verlopen en de wijze waarop bacteriën verbin-



6a

6. Een TEM-opname toont de enorme korrels die zich in enkele *Pseudomonas oleovorans*-bacteriën bevinden (a). Na vriesetsen

zijn paddestoelachtige structuren zichtbaar (b). Het biopolyester, PHA, kan na isolatie de vorm van een vliesje aannemen (c).

dingen omzetten. Een veel voorkomend probleem bij het uitvoeren van reacties is het ontstaan van een mengsel van verbindingen in plaats van één bepaalde stof. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat een chemische groep op meer plaatsen aan hetzelfde molecuul kan binden. Zo'n reactie, waarbij twee *isomeren* ontstaan, noemt men dan niet-regiospecifiek. De produkten hebben dezelfde chemische samenstelling, maar zijn verschillend gebouwd. Het is ook mogelijk dat bij een reactie twee produkten ontstaan die elkaar spiegelbeeld zijn, *stereoisomeren*. In dat geval is er sprake van een niet-stereospecifieke synthese. De stoffen in zo'n mengsel zijn chemisch weliswaar identiek, maar kunnen toch enorm verschillen in chemische reactiviteit of biologische werking (geneesmiddelen bijvoorbeeld).

In bacteriën worden reacties uitgevoerd met behulp van enzymen. Een enzym is een eiwit dat een chemische omzetting katalyseert. Bij de verbranding van glucose in levende wezens, waarbij uiteindelijk koolstofdioxide en water ontstaat, zijn bijvoorbeeld vele enzymen betrokken die er elk voor zorgen dat een tussenreactie kan plaatsvinden. Een kenmerk van enzymen is, dat zij zeer nauwkeurig reacties uitvoeren. Enzymen kunnen zeer kieskeurig zijn wat betreft de verbindingen die zij omzetten, en zij vormen vaak maar één bepaald produkt in plaats van een mengsel van isomeren.

In Groningen waren wij van mening dat het mogelijk moet zijn om stereospecifieke of regioselectieve organische syntheses uit te voe-

ren met bacteriën. De enzymen in de bacterie zouden er dan voor zorgen dat er maar één produkt zou ontstaan en geen mengsel. De omzetting van alkenen in epoxy-alkanen, verbindingen waarbij een zuurstofatoom aan twee onderling verbonden koolstofatomen is gebonden, leek goede mogelijkheden te bieden om eenvoudige verbindingen te maken die weer als uitgangsmateriaal konden dienen voor tal van andere organische syntheses. In 1978 begonnen we organisch-chemische verbindingen te oxyderen met behulp van micro-organismen. Dit onderzoek breidt zich nog steeds uit.

Om alkanen om te zetten tot alkanolen kweekten wij de bacterie *Pseudomonas oleovorans* in een speciaal medium. We voegden zo veel octaan (een alkaan met acht koolstofatomen) aan een suspensie van bacteriën toe, dat de oplossing verzadigde en het octaan als een druppel olie op het water bleef drijven. De *P. oleovorans*-cellen leefden in het waterige milieu, maar gebruikten het octaan als koolstofbron. Toen de zo gekweekte cellen onder de elektronenmicroscoop werden bekeken, bleken zij uitpuilende, paddestoelachtige structuren te bevatten (afb. 5 en 6b). Wat waren dit? Waar bestonden ze uit? Hadden deze cellen soms een reservestof opgeslagen, zoals andere micro-organismen polyhydroxyboterzuur hadden bewaard? Uit een chemische analyse bleek dat de uitstulpingen waren gevuld met een polyester, die vermoedelijk was gevormd uit het octaan waarop we *P. oleovorans* hadden gekweekt.



6b



6c

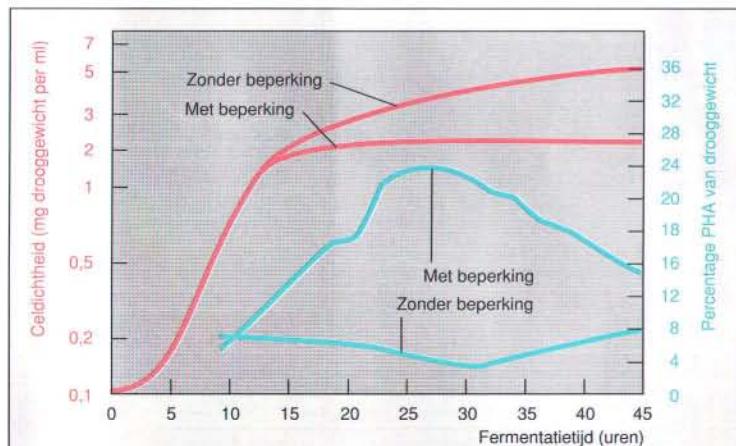
De biosynthese van PHA's

De structuur van de polyesters werd vastgesteld door het polymer te splitsen in monomeren en deze te vergelijken met een aantal synthetische verbindingen. Daarbij bleek dat de monomeren overeenkomen met tussenprodukten die ontstaan bij de afbraak van vetzuren in de bacterie. In plaats van deze verbindingen verder af te breken, worden ze gebruikt als grondstof voor de polyesters. We benoemden de verbindingen polyhydroxy-alkanoaten oftewel PHA's. Zij worden gesynthetiseerd door enzymen: de PHA-polymerasen. We isoleerden de genen die de informatie over deze enzymen bevatten. Nadat de basenpaarvolgorde van deze genen was bepaald, wisten we ook meer over de overeenkomsten en verschillen tussen de twee gevonden PHA-polymerasen en het al eerder bekende PHB-polymerase (zie Intermezzo).

De samenstelling en de fysische eigenschappen van de gevormde PHA's bleken af te hangen van de beschikbare koolstofbron in het medium. Wanneer bijvoorbeeld n-decaan (een niet-vertakt alkaan met tien koolstofatomen) dienst deed als koolstofbron, bevatte het PHA naast 3-hydroxyoctadecanoaat ook 3-hydroxydecanoaat. De smelttemperatuur van het PHA was in dat geval duidelijk hoger dan wanneer n-heptaan (zeven koolstofatomen) als koolstofbron fungeerde. PHA's en PHB verschillen onderling sterk qua fysische eigenschappen. PHB is een bros polymer met een relatief hoog smeltpunt, terwijl PHA's flexibele plastics zijn.

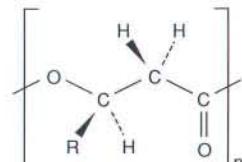


7



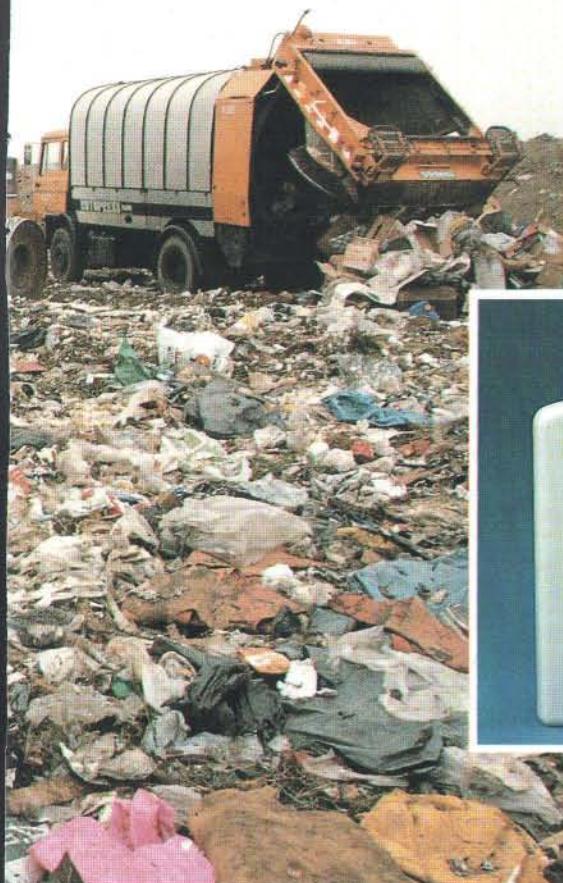
9

444



9. Beperking van de hoeveelheid stikstof remt de groei van de bacterie en stimuleert de PHA-vorming.

10. PHA's kunnen monomeren bevatten met uiteenlopende lengten. De lengte van de groep R is van invloed op de fysische eigenschappen van het polymer.



monomeren is een zogenaamd asymmetrisch koolstofatoom. Vier verschillende chemische groepen kunnen zich op twee manieren rond dit atoom verdelen. De hydroxylgroep kan dus in twee oriëntaties aan dit koolstofatoom zijn gebonden. In de praktijk blijkt dat PHA's slechts één van deze zogenaamde stereoisomeren bevatten (afb. 10).

Een tweede belangrijke eigenschap van PHA's is de biologische afbreekbaarheid van

8

7. Jaarlijks verdwijnt een grote hoeveelheid plastic afval op de vuilnisbelt. Hieruit ontstaan in de vuilverbrandingsinstallaties schadelijke verbindingen.

8. Biopol is een biologisch afbreekbaar plastic. Onder de juiste omstandigheden kan een shampoofles van dit materiaal in korte tijd vergaan.

met een laag smeltpunt. PHA's zullen dan ook voor andere toepassingen bruikbaar zijn dan PHB.

Bioplastics als grondstof

De mogelijke toepassingen van bioplastics hangen af van zowel de eigenschappen als de kosten van deze materialen. Een belangrijke eigenschap van PHA's is de opbouw van deze polyester uit één type stereoisomeren. Dit is interessant, omdat dit materiaal dan als bron van deze verbindingen kan optreden, die als uitgangsstof voor organische syntheses kunnen dienen. Er komen twee stereoisomeren voor van PHA-monomeren. Het derde koolstofatoom in deze

dezse plastics. De monomeren zijn tussenprodukten bij de biologische afbraak van vetten. Deze monomeren zijn daardoor voor diverse bacteriën een geschikte voedingsstof. De bacteriën behoeven enkel de esterbinding waarmee de monomeren aan elkaar zijn verbonden te verbreken. Het is waarschijnlijk dat men bij toepassingen aanvankelijk vooral van deze tweede eigenschap gebruik zal maken. Met het groeiende milieubewustzijn zal er bijvoorbeeld een markt ontstaan voor biologisch afbreekbare plastic verpakkingsmiddelen.

Er verschijnen al enige tijd kleine hoeveelheden PHB op de markt onder de handelsnaam Biopol. Dit materiaal lijkt enigzins op polystyreen. Voorlopig maakt men hiervan bekers,

Enzymen en *Pseudomonas*-mutanten

INTERMEZZO

De biosynthese van PHB en PHA begint met tussenprodukten van de afbraak van vetzuren (afb. I-1). Van de verschillende tussenprodukten benut de cel de 3-hydroxyvetzuren om PHA's te maken. De 3-hydroxyvetzuren zijn gebonden aan co-enzym A (CoA). De energie die is gevangen in deze binding kan worden benut bij de koppeling van een nieuw monomeermolekúl aan een reeds bestaande (en gestaag groeiende) polymerketen. Om de overdracht van het 3-hydroxyvetzuur van CoA naar het groeiende PHA te bewerkstelligen is een enzym nodig, PHA-polymerase. Enkele jaren geleden was het

nog niet bekend of zo'n enzym wel of niet bestond. Onlangs is aangetoond dat diverse *Pseudomonas*-soorten inderdaad dergelijke enzymen bevatten.

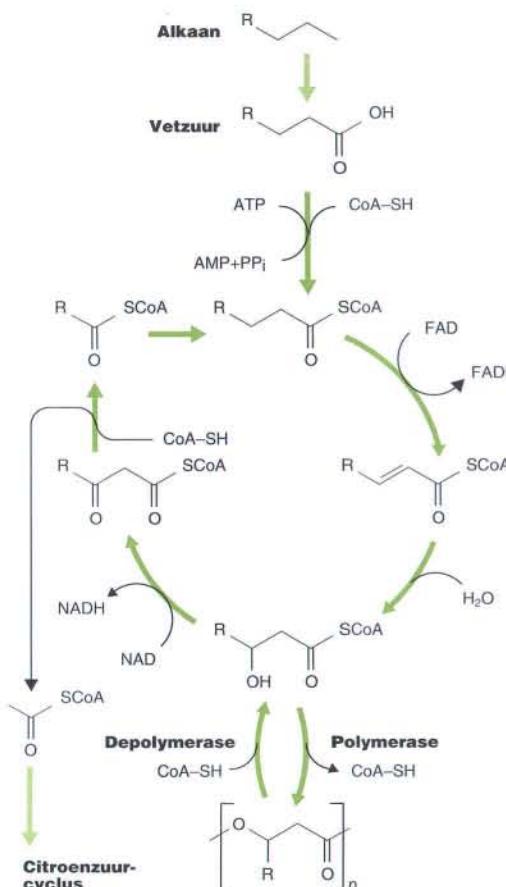
Om te bewijzen dat *Pseudomonas*-stammen een PHA-polymerase bevatten zijn eerst mutanten gemaakt van *P. oleovorans* die niet langer in staat waren om PHA te maken. De idee hierachter was dat dergelijke PHA-mutanten wel eens een defect in het hypothetische PHA-polymerase zouden kunnen hebben. Vervolgens is al het DNA van *P. oleovorans* in kleine stukjes geknipt. De stukjes DNA bevatten te zamen al het DNA van *P. oleovorans* en dus ook het gen met de informatie voor het hypothetische enzym PHA-polymerase. De DNA-fragmentjes worden nu ieder in een PHA-mutant ingebracht, waarbij 'recombinante' *Pseudomonas*-stammen ontstaan die alle eigenschappen hebben van de PHA-mutant (en dus geen PHA kunnen maken) en bovendien alle eigenschappen die het toegevoegde stukje DNA bevat.

De meeste recombinante stammen bleken niet in staat PHA te maken, wat betekent dat de informatie op het toegevoegde stukje DNA het defect in de PHA-mutant niet teniet kon doen. Enkele recombinante stammen konden dat echter wel. Het stukje DNA dat in deze gevallen was toegevoegd, hebben we daarom geïsoleerd en in detail geanalyseerd.

Uit deze analyse bleek dat het stukje DNA genen bevat voor twee enigszins verschillende PHA-polymerasen. *P. oleovorans* beschikt dus inderdaad over enzymen die de overdracht van monomeren naar PHA katalyseren. Om nu vast te stellen welk van deze enzymen bij de synthese van PHA is betrokken, zijn de beide genen afzonderlijk in de PHA-mutant ingebouwd. Daarna keken we of en in hoeverre de zo verkregen recombinanten PHA kunnen maken.

Uit deze experimenten kwam vast te staan dat beide genen coderen voor PHA-polymerasen. In beide gevallen kunnen de recombinante stammen ongeveer dertig procent PHA maken ten opzichte van de celmassa. De samenstelling van de gemaakte PHA's verschilt een klein beetje. Of dit invloed heeft op de eigenschappen van het materiaal moet nog worden onderzocht.

PHA wordt redelijk snel afgebroken in de natuur. Dit is wenselijk wanneer wij geïnteresseerd zijn in biologisch afbreekbare plastics. De bacterie die PHA maakt, *Pseudomonas*, kan het ook afbreken. Dat kan echter zeer nadelig zijn met het oog op de produktie en misschien ook de materiaaleigenschappen van PHA's. Daarom is gezocht naar een *Pseudomonas*-mutant, die het gevormde polyester niet kan afbreken. Zo'n mutant is inderdaad gevonden. Deze produktiestam laat de gevormde polyester intact. Thans onderzoekt men de mogelijkheden om deze biomaterialen te verwerken met spuitgieten.



I-1. Bij de afbraak van alkanen in de bacterie, worden deze eerst omgezet in vetzuren. Deze worden verder afgebroken via de β -oxydatie. Een tussenproduct hierbij is het 3-hydroxy-alcanoat, dat is gekoppeld

aan Coenzym A. PHA-polymerase gebruikt dit als grondstof. Bij afbraak van het polyester door een depolymerase, komen de monomeren weer vrij voor verdere oxydatie in de vetzuurafbraak.



11

11. De bacteriële productie van PHAs gebeurt nu nog op kleine schaal. Onderzoekers bepalen de beste

omstandigheden voor de plasticproductie en de polyesters die ontstaan bij uitlopende voeding.

flesjes en dergelijke (afb. 8). Dit is op het eerste gezicht geen aantrekkelijke markt, want PHB kost thans nog zo'n 50 gulden of 950 franken per kilogram. Toch verscheen er vorig jaar in Duitsland een 'milieu-vriendelijke' shampoo op de markt, die is verpakt in een flacon van PHB. De consument koopt zodoende niet alleen een 'groene' shampoo, maar ook het prettige gevoel een beetje beter om te springen met het milieu.

Afbraak

De afbraak van PHA's kan langs mechanische, chemische en biologische weg plaatsvinden. Wanneer we ons beperken tot afbraak in het milieu, valt de mechanische degradatie te verwaarlozen. Van de overige twee mogelijkheden, verloopt de biologische afbraak vele malen sneller dan chemische afbraak. Bij biologische afbraak scheiden micro-organismen enzymen uit die het polymer afbreken tot producten die ze kunnen opnemen en verbruiken.

Diverse factoren beïnvloeden de enzymatische afbraak van PHA's. Eigenschappen van het biologische plastic die daarbij een rol spelen

zijn het moleculengewicht en de kristalvorm van het plastic. Milieufactoren zoals temperatuur, zuurgraad en zuurstofspanning van de omgeving zijn ook belangrijke parameters die een groot verschil in afbraaksnelheid kunnen veroorzaken. Zo vergt de biologisch afbraak van een PHB-laag met een dikte van een micrometer in zuurstofloos rioolwater zes weken, terwijl de afbraak van dezelfde film in zeewater meer dan zes jaar duurt.

De toepassing van bioplastics in verpakkingen is een bescheiden begin. Maar in de geest van La Fontaine's mier: wie het kleine niet eert... In een volgende stap zouden producenten kunnen nagaan in hoeverre de milieubewuste consument bereid is om in het algemeen meer geld te besteden aan biologisch afbreekbare verpakkingsmaterialen. Wanneer we zorgvuldig met dit soort materialen omspringen, zal met relatief weinig massa, en dus met weinig geld, kunnen worden volstaan. Hetzelfde geldt natuurlijk ook voor vuilniszakken. Een volledig biologisch afbreekbare vuilniszak vergaat dan op stortplaatsen met een groot deel van het overige afval.

Alhoewel de prijs van PHA's en PHB dit soort toepassingen aanvankelijk zeker zal beperken, zullen nieuwe milieu-normen vermoedelijk toch bijdragen aan het ontstaan van een PHA-markt. Hierdoor zal de industrie PHA steeds goedkoper kunnen produceren waardoor zich weer nieuwe toepassingen voor PHA's zullen aandienen. Eén daarvan is de ontwikkeling van materialen die op een bepaald moment op een voorspelbare wijze uiteenvallen. Hiermee kan de geschiedenis van een produkt reeds vooraf in het produkt worden ingebouwd.

Bronvermelding illustraties

- ICI Bio Products & Fine Chemicals, Billingham: 1, 2, 8.
- Avebe, Foxhol: 3.
- Michiel Wijnbergh, Driebergen: 7.
- Marcel Molle, Amsterdam: 11.
- De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.

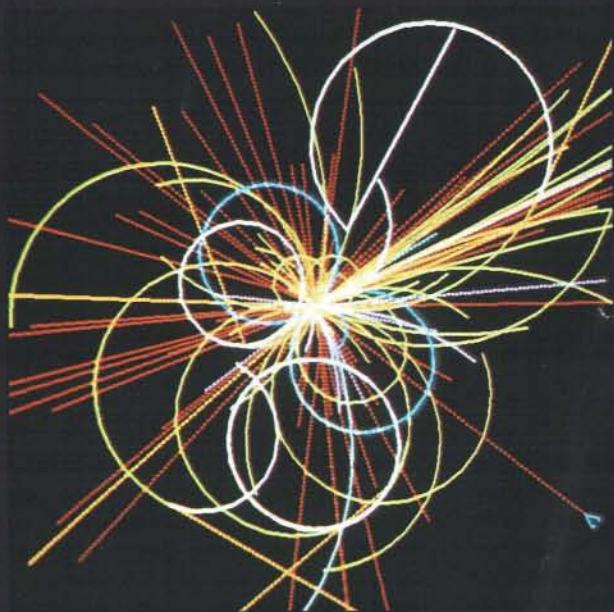
SPINPUZZEL

Drie rondtollende quarks maken een proton, dat dachten we tenminste in de afgelopen twintig jaar. Twee quarks, 'up' en 'down' genoemd, vormen in wezen de elementaire bouwstenen van alle zware materie in het heelal. Van alle deeltjes die ontstonden tijdens de oerknal, bleven juist deze quarks over en nu zitten ze opgesloten in de protonen en neutronen die we aantreffen in atoomkernen. We kunnen quarks niet 'waarnemen' als deeltjes, bijvoorbeeld in bellenvaten of meer geavanceerde detectoren. Hun gedrag als harde pitten in de protonen en neutronen blijkt echter duidelijk uit experimenten waarin we deeltjes op elkaar schieten en de daarbij gevormde brokstukken bestuderen. Juist nu fysici met een aantal gedetailleerde experimenten de puntjes op de i willen zetten, worden er echter meer vragen opgeworpen dan beantwoord. Een van die vragen behelst het impulsmoment van het proton. Komt dit wel van de drie quarks in het proton? Of lijken de uitkomsten van recente experimenten zo vreemd omdat we nog onvoldoende begrijpen van de dynamica van de quarks in het proton?

P.J.G. Mulders

Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-energiefysica (NIKHEF-K)
Faculteit Natuurkunde en Sterrenkunde, Vrije Universiteit Amsterdam

Als twee protonen met een energie van 20 TeV met elkaar botsen, zouden er een grote hoeveelheid protonen, mesonen en andere deeltjes ontstaan uit de oorspronkelijke quarks en gluonen. Voorlopig blijft zo'n gebeurtenis nog beperkt tot simulaties. Uit botsingen van deeltjes bij lagere energieën heeft men echter zoveel inzicht in het gedrag van elementaire deeltjes gekregen, dat men zich durft te wagen aan dit soort voorspellingen.



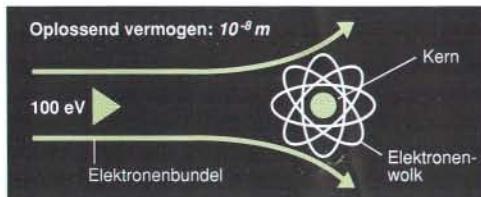
DE ROL VAN DE TOLLENDE QUARKS

In het begin van deze eeuw toonden Geiger en Marsden het bestaan van atoomkernen aan. Zij ontdekten dat als zij alfadeeltjes (${}^4_2\text{He}$) afschoot op een metaalfolie, een aantal daarvan afboog over grote hoeken terwijl het merendeel gewoon rechtdoor ging. Hetzelfde gold voor bêtadeeltjes (zo noemde men destijds elektronen). Rutherford leidde hieruit af dat het atoom een kern bevat die slechts een klein deel van het atoom beslaat. De zeldzame botsingen van deeltjes met een atoomkern veroorzaken de verstrooiing over grote hoeken als betrof het botsingen van biljartballen. Hiermee was de basis gelegd voor het moderne atoombeeld: een positief geladen kern met daaromheen de negatieve geladen elektronen.

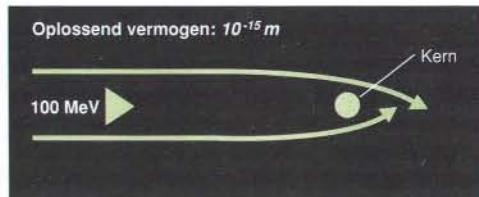
echter duidelijk waarom stikstof-14 (${}^{14}\text{N}$) een *heeltallige spin* heeft (opgebouwd uit een even aantal halftallige spindeeltjes). Met proton, neutron en elektron leek begin jaren dertig een compleet beeld van de bouwstenen van de materie voorhanden. Om volledig te zijn moeten we er nog het neutrino aan toevoegen. Dit deeltje komt vrij als een neutron uiteenvalt in een proton, een elektron en een antineutrino. Het heeft net als de andere deeltjes spin $\frac{1}{2}$, maar zover we kunnen nagaan geen massa.

De structuur van nucleonen

Al direct nadat het beeld voorhanden was van proton, neutron, elektron en neutrino als de ba-



1



De atoomkern is niet ondeelbaar, maar is opgebouwd uit protonen en neutronen. Het proton zelf is de eenvoudigste atoomkern, namelijk die van het waterstofatoom. Protonen hebben een positieve lading $+e$ (e = elementaire lading = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$). Het neutron is vrijwel een kopie van het proton. De massa van deze deeltjes is praktisch gelijk en beiden hebben een *intrinsiek impulsmoment* ofwel *spin* dat gelijk is aan $s = \frac{1}{2} \hbar$. De grootheid \hbar is gelijk aan $\hbar/2\pi$, waarbij \hbar de constante van Planck is, $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$. De spin geeft men meestal aan zonder \hbar , bijvoorbeeld spin is $\frac{1}{2}$. In tegenstelling tot het proton heeft het neutron echter geen lading. Na de ontdekking van het neutron door Chadwick in 1932, realiseerde Heisenberg zich dat protonen en neutronen de bouwstenen van de atoomkern zijn. Volgens een ouder model bestond bijvoorbeeld de stikstofkern uit veertien protonen en zeven elektronen. Door het oneven aantal deeltjes met een halftallige spin, zou deze kern een halftallige spin hebben en dat was in strijd met experimentele gegevens. Met zeven neutronen en zeven protonen was het

sisbestanddelen van de natuur, vermoedde men dat de 'zware' deeltjes of *nucleonen* (proton en neutron) een ingewikkelder structuur hadden dan de 'lichte' *leptonen* (elektron en neutrino). Zoals alle geladen tollende deeltjes vormen elektron en proton een magnetisch veld om zich heen. Voor een elektron heeft dat veld precies de sterkte die men van een puntdeeltje mag verwachten. Het magnetisch moment is evenredig met het intrinsieke impulsmoment en de evenredigheidsconstante is precies gelijk aan de lading ($-e$) gedeeld door de massa van het elektron. Het magnetisch veld van het proton en het neutron bleek echter aanzienlijk groter dan dat van een puntdeeltje. Zo was de evenredigheidsconstante voor het proton circa driemaal zo groot als de verhouding van lading en massa. En nog vreemder was het feit dat het ongeladen neutron toch een magnetisch moment heeft. Dit wijst erop dat in het neutron ladingen ronddraaien.

In de jaren vijftig verstrooiden Hofstadter en zijn medewerkers elektronen aan allerlei materialen: zij onderzochten de afbuiging van de

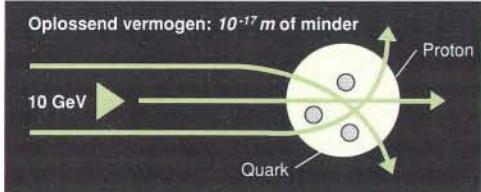
Massa en energie

INTERMEZZO I

In de kernfysica en hoge-energiefysica is het de gewoonte om energieën uit te drukken in elektronvolt (eV) en meervouden hiervan; 1 eV is de energie die een deeltje met lading +e krijgt als het een spanningsverschil van 1 V doorloopt. In de kernfysica en hoge-energiefysica zijn de karakteristieke energieën die een rol spelen van de volgende orde van grootte: 1 MeV = 10^6 eV, 1 GeV = 10^9 eV, 1 TeV = 10^{12} eV. Gebruikmakend van de uitdrukking voor de rustenergie van een deeltje ($E = m c^2$), drukken we massa's uit in eenheden MeV c^{-2} , GeV c^{-2} ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$). De massa's van elektronen, protonen en neutronen zijn bijvoorbeeld: $m_e = 0,511 \text{ MeV c}^{-2}$, $m_p =$

$938,3 \text{ MeV c}^{-2}$, $m_n = 939,6 \text{ MeV c}^{-2}$.

Voor een bewegend deeltje met een energie $E = m c^2 \gamma$ en impuls $p = m v \gamma$ (v is de snelheid en $\gamma = (1 - v^2 c^{-2})^{-1}$) geldt $E = (p^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2}$. De impuls p kan daarom eenvoudig worden gegeven in eenheden MeV c^{-1} enz. Merk op, dat als de snelheid en dus ook de impuls gelijk is aan nul, dit de vergelijking vereenvoudigt tot $E = m c^2$, hetgeen de rustenergie voor een deeltje met massa m geeft. Wanneer de snelheid en de impuls juist heel erg groot worden, verandert de vergelijking in $E = p c$, geldig voor een elektron waarvan de snelheid die van het licht nadert of voor een foton.



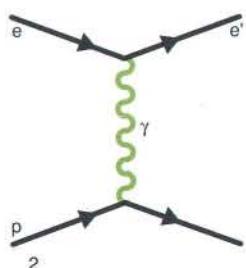
1. Bij het beschieten van materialen met een elektronenbundel, neemt het oplossend vermogen toe met de energie van de bundel. Bij een lage bundelenergie zorgt de elektronenwolk voor het afbuigen van naderende elektronen. Als de energie van de elek-

tronen 100 MeV is, buigt de positieve atoomkern de elektronenbanen af. Het oplossend vermogen is hier een femtometer. Als het oplossend vermogen verder toeneemt, kunnen elektronen verstrooid raken aan deeltjes in een nucleon, de quarks.

elektronen als die dicht langs atomen gaan. Met deze experimenten bepaalden ze een aantal eigenschappen van protonen en atoomkernen, zoals de verdeling van lading en magnetisatie. Zij maten in deze experimenten het aantal verstrooide elektronen als functie van de hoek waarover die elektronen werden afgebogen. De afbuigingshoek van de elektronen is een maat voor de hoeveelheid impuls Q die het elektron verliest aan de deeltjes waar het tegen botst. Deze energie wordt overgedragen via een foton waarvan de golflengte omgekeerd evenredig is met de impulsoverdracht, $\lambda = \hbar Q^{-1}$ (afb. 2). Het verstrooiingspatroon als functie van de hoek ofwel de *impulsoverdracht* noemen we de vormfunctie. Dit patroon is karakteristiek voor de vorm van de ladingsverdeling, die we bepalen via een wiskundige bewerking, bekend als Fouriertransformatie. Een ruimtelijk uitgebreide ladingsverdeling correspondeert met een sterk gepikte vormfunctie en omgekeerd. Globaal komt het erop neer, dat als lading is verdeeld over een gebied met straal r , de overeenkomstige vormfunctie een uitgebreidheid in

de impuls heeft ter grootte van $\hbar r^{-1}$. Hoe gedetailleerd we de ladingsverdeling kunnen meten hangt af van de maximale impulsoverdracht waarbij de vormfunctie nog is na te gaan. Deze maximale impulsoverdracht komt overeen met de minimale golflengte voor de uitgewisselde fotonen en bepaalt op die manier het oplossend vermogen. We kunnen de ladingsverdeling dus pas gedetailleerd berekenen, wanneer we elektronen gebruiken met voldoende hoge energie zodat we dergelijke impulsoverdrachten bereiken. Gegeven de waarde van \hbar , kunnen we een nauwkeurigheid van één femtometer (1 fm =

2. Feynman-diagrammen worden gebruikt om verstrooiingsprocessen te berekenen, bijvoorbeeld de elektronprotonverstrooiing ten gevolge van de uitwisseling van een foton.



10^{-15} m) bereiken bij een impulsoverdracht ter grootte van $p = \hbar r^{-1} \approx 200 \text{ MeV c}^{-1}$. Wanneer elektronen fotonen met een dergelijke impuls-overdracht uitzenden, moeten ze zelf minstens over deze impuls beschikken. Ze moeten dan een minimale energie van ongeveer 200 MeV hebben.

Hofstadter gebruikte in zijn experimenten elektronen met een energie van circa 1 GeV (zie Intermezzo I). De maximale impulsoverdracht was in dezelfde orde van grootte, $Q \approx 1 \text{ GeV c}^{-1}$, zodat hij het proton kon 'bekijken' met een oplossend vermogen van circa 0,2 fm. Uit de afmetingen van de ladingsverdeling en magnetisatie van proton en neutron bleek dat proton en neutron beide een afmeting hebben van ongeveer 0,8 fm. Om meer details te zien gebruikten Friedman, Kendall en Taylor aan het einde van de jaren zestig een nieuwe, circa drie kilometer lange versneller bij de universiteit van Stanford, het Stanford Linear Accelerator Center. Daarmee versnelden zij elektronen tot 20 GeV. Met een oplossend vermogen van 0,01 fm bleek nu, dat er een soortgelijk verschijnsel optrad als bij de eerder genoemde experimenten van Rutherford. De elektronen die

mig zijn, of preciezer, als we de grenzen van het meetbereik in aanmerking nemen, kleiner zijn dan het oplossend vermogen van 0,01 fm. Deze deeltjes, die men eerst *partonen* noemde, bleken later overeen te komen met de up- en down-quarks, die Gell-Mann en Zweig in 1963 hadden gepostuleerd. De MIT-SLAC-experimenten, zo genoemd vanwege de hierbij betrokken instituten, beschouwt men nu met recht als het 'experimentele' bewijs van het bestaan van de quarks. Hiervoor is in 1990 de Nobelprijs voor natuurkunde toegekend.

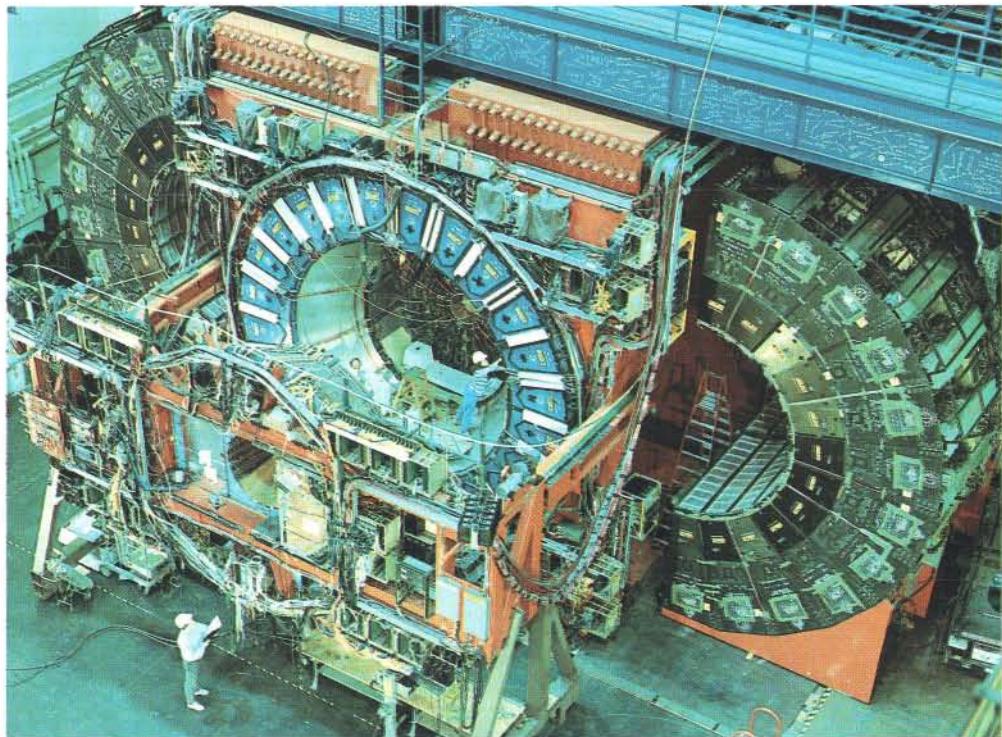
Het succes van het quark-model is met name te danken aan zijn eenvoud. De 'zware' deeltjes (*hadronen*) die gevoelig zijn voor sterke wisselwerkingen, zijn opgebouwd uit een combinatie van quarks en hun antideeltjes, de antiquarks. Laatstgenoemde geeft men aan met een streepje boven de lettercode van de gewone quark. Elke quark kan voorkomen in een van drie ladingstoestanden; gecombineerd neutraliseren deze drie ladingen elkaar. Vanwege de analogie met kleuren heeft men er de naam *kleurlading* aan gegeven. In alle waargenomen deeltjes is de kleurlading geneutraliseerd, wat verklaart waarom de hadronen zijn opgebouwd uit een

TABEL De quarksmaken

Smaak	Symbol	Massa MeV c ⁻²	e _q /e	S/ħ
Up	u	350	+2/3	1/2
Down	d	350	-1/3	1/2
Strange	s	500	-1/3	1/2
Charm	c	1550	+2/3	1/2
Bottom	b	4800	-1/3	1/2
Top (?)	t	>60 000	+2/3	1/2

op het proton werden geshoten, gaven niet de vormfunctie te zien die veel te verwachten op grond van een homogene ladingsverdeling in het proton. Wanneer de elektronen werden verstrooid, gebeurde dat over alle hoeken en de verstrooiing was onafhankelijk van de impuls-overdracht. Dit betekende dat de deeltjes waaraan de verstrooiing plaatsvindt puntvor-

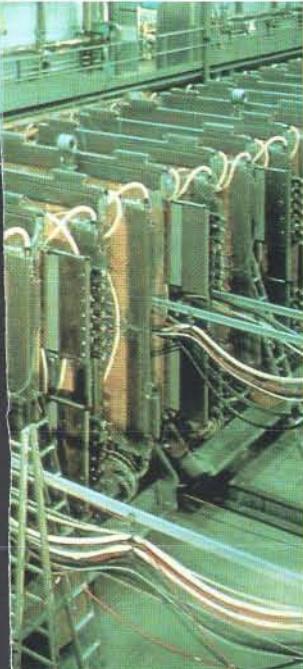




3

3. De CDF-botserdetector in het Fermilab is drie verdiepingen hoog. Informatie over de deeltjes die bij botsingen tussen protonen en antiprotonen ontstaan, gaat via 70 000 kanalen naar speciale computers.

4. Bij CERN staat deze enorme muondetector opgesteld. Muonen beschouwt men als zeer zware elektronen. Bundels van deze deeltjes zijn gebruikt om de verdeling van quarkspins te meten.



quark en een antiquark met complementaire kleuren (*mesonen*, zoals het pion of het muon) of uit drie quarks (*baryonen*, zoals het proton en het neutron). We kennen op dit moment vijf verschillende soorten quarks die ieder voorkomen in drie kleuren. Een zesde soort, de top-quark, is nog niet gevonden maar wordt op grond van symmetrie-overwegingen verwacht. Deze soorten worden aangeduid als *quarksmaak*. De diverse quarks staan weergegeven in de tabel. In deze tabel staat bij de massa de zogenaamde bouwsteenmassa. Daarbij is er al rekening mee gehouden dat de quarks zijn gebonden in baryonen en mesonen.

Toen men het quark-model ontwikkelde, kon men de toen bekende baryonen en mesonen goed verklaren met de drie lichtste quarks, up, down en strange (u, d en s). Voor de ons omringende materie op aarde of in het heelal zijn de up- en down-quarks zelfs al voldoende. De enige zware deeltjes die hier een rol spelen, zijn namelijk het proton en neutron. Een proton is volgens het quarkmodel opgebouwd uit twee up-quarks en een down-quark, terwijl het

Magnetische momenten

In een proton of neutron met gegeven spin zijn er twee mogelijkheden voor de verdeling van de quarkspins die met verschillende waarschijnlijkheden (P) voorkomen. Het magnetisch moment van het proton is de som van de magnetische momenten van de afzonderlijke quarks. Dit zijn puntdeeltjes, dus

$$\vec{M}_p = \sum_q \frac{e_q}{m_q} \vec{s}_q.$$

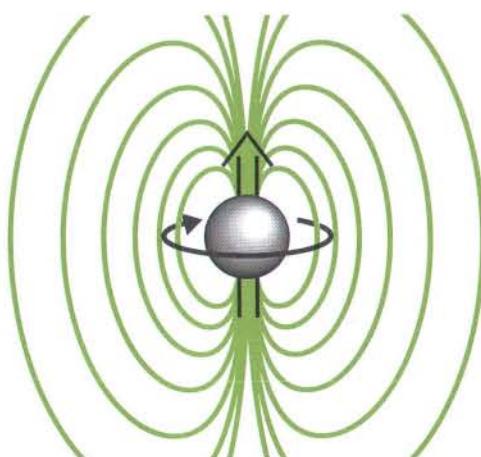
Voor een proton met een welbepaalde spin ($+\frac{1}{2}$) volgt uit deze formule:

$$\begin{aligned} M_p &= \frac{2}{3} \frac{e}{m_q} \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{3} \right) \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) \right] \\ &\quad + \frac{1}{3} \frac{e}{m_q} \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{2}{3} \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) + \left(-\frac{1}{3} \right) \cdot \frac{1}{2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \frac{e}{m_q} = \frac{m_p}{m_q} \cdot \frac{e}{m_p} s_p. \end{aligned}$$

Vergelijken we dit met het magnetisch moment van een puntdeeltje, dan zien we voor het proton de extra factor $\mu_p = m_p m_q^{-1} = 938/350 \approx 2,7$. Dit is in goede overeenstemming met de experimenteel gevonden waarde $\mu_p = 2,79$. Voor het neutron vinden we op analoge wijze

$$M_p = -\frac{1}{3} \frac{e}{m_q} = -\frac{2}{3} \frac{m_n}{m_q} \cdot \frac{e}{m_n} s_n,$$

ofwel $\mu_n = -\frac{2}{3} (m_n m_q^{-1}) \approx -1,8$, dat ook goed klopt met de experimenteel gevonden waarde $\mu_n = -1,91$. De verhouding $\mu_n \mu_p^{-1} = -\frac{2}{3}$ komt bovendien uitstekend overeen met de experimentele verhouding.

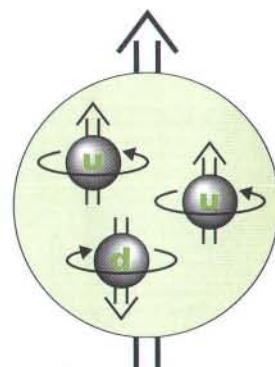


II-1

II-1. Een tollend, geladen deeltje wekt een magnetisch veld op met een zeker magnetisch moment. In het

quark-model hebben de tollende quarks ook een magnetisch moment.

PROTON		NEUTRON	
Component	P	Component	P
u \uparrow u \uparrow d \downarrow	2/3	d \uparrow d \uparrow u \downarrow	2/3
u \uparrow u \downarrow d \uparrow	1/3	d \uparrow d \downarrow u \uparrow	1/3



5

5. Twee up-quarks en een down-quark vormen in dit eenvoudige model een proton. De som van de quarkspins resulteert in de protonspin.

neutron juist bestaat uit twee down-quarks en een up-quark. Het feit dat proton en neutron praktisch dezelfde massa hebben, correspondeert met het feit dat up- en down-quarks dezelfde massa hebben. Zij hebben ook allebei de kleinste mogelijke spin, namelijk $\frac{1}{2}$. Quantumechanisch kan een deeltje met spin $\frac{1}{2}$ slechts twee oriëntaties hebben, namelijk parallel ($+\frac{1}{2}$) en antiparallel ($-\frac{1}{2}$). In het quark-model geven de spins van drie quarks de spin van het proton en neutron. Omdat deze deeltjes spin $\frac{1}{2}$ hebben, moeten in een proton de spins van twee quarks parallel staan aan de protonspin en die van één quark antiparallel (afb. 5). Een belangrijk resultaat van het quark-model is de verklaring van de magnetische momenten van de nucleonen (zie Intermezzo II).

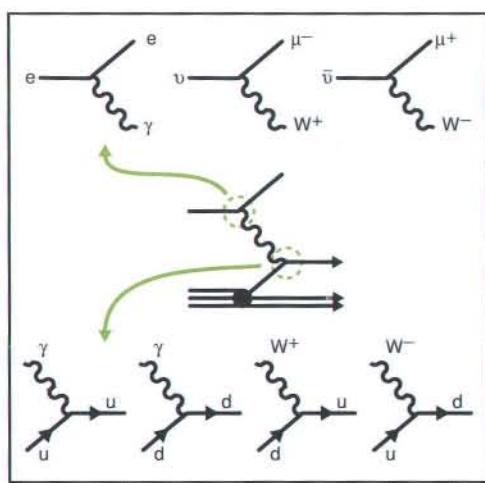
Deeltjes die een of meer van de quark-smaken strange, charm of bottom (en wellicht ook top) bevatten, kunnen we slechts produceren in versnellers. Daarbij wordt botsingsenergie omgezet in de energie die minstens nodig is om een quark en antiquark van een bepaalde soort te produceren, te weten de rustenergie $m c^2$. In feite is alleen de up-quark stabiel. Alle zwaardere quarks vervallen naar lichtere. De strange-quark vervalt bijvoorbeeld naar de up-quark onder uitzending van een elektron en een antineutrino. Dit proces verloopt via de uitwisseling van een W^+ -quantum (zoals fotonen energiedragers zijn bij elektromagnetische wisselwerkingen, zijn W -quanta en het Z -quantum dat bij zwakke wisselwerkingen). Op dezelfde manier vervalt ook een down-quark. Dit is het proces dat aan het verval van het neutron naar een proton ten grondslag ligt.

De quark-smaken

In de loop van de jaren zeventig werd de overeenkomst duidelijk tussen de pitten die men vond bij diep-inelastische verstrooiing en de quarks van het quark-model. Dit kwam met name door een aantal experimenten met neutrino's en antineutrino's. In elektron- of muon-experimenten (een muon is een zwaarder broertje van het elektron met verder precies dezelfde eigenschappen) tast men het doelwit af met fotonen die worden uitgezonden en geabsorbeerd door deeltjes met lading. Omdat zo-

wel up- als down-quarks lading hebben, is het niet mogelijk met fotonen onderscheid te maken tussen deze quarks. Dat kan echter wel met W -bosonen. In experimenten met neutrino's of antineutrino's produceert men dan ook W -quanta die het doelwit aftasten (zie afb. 6). Het W^- -deeltje heeft slechts interacties met de up-quark ($W^- + u \rightarrow d$) terwijl het W^+ -deeltje alleen maar gevoelig is voor down-quarks ($W^+ + d \rightarrow u$). De zo verkregen uitsplitsing naar de quarksmaken up en down, maakte het mogelijk een beeld te krijgen van de verdeling van de verschillende quarks in het proton.

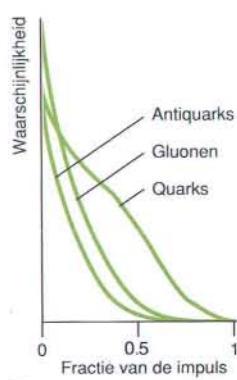
Men kon ook de verdeling bepalen van de antiquarks in het proton, zoals \bar{u} en \bar{d} . De gemeten waarschijnlijkheidsverdelingen blijken goed te kloppen met het beeld dat men van het proton had op grond van het quark-model. Zo blijkt het verschil tussen het aantal up-quarks en anti-up-quarks precies twee te zijn. Het overschat aan up-quarks wordt precies gecompenseerd door de anti-up-quarks. Voor de down- en anti-down-quarks is dat verschil één. Naast de drie quarks die de eigenschappen van het proton geven (uud) bleken er dus ook quark-antiquark-paren voor te komen. Bovendien bleef er nog ruimte over voor andere, elektrisch neutrale, deeltjes, die zijn geïdentificeerd als de *gluonen*. Deze vormen de quanta die verantwoordelijk zijn voor de wisselwerkingen tussen de quarks, net zoals het foton in elektromagnetische wisselwerkingen of de W - of Z -deeltjes in zwakke wisselwerkingen.



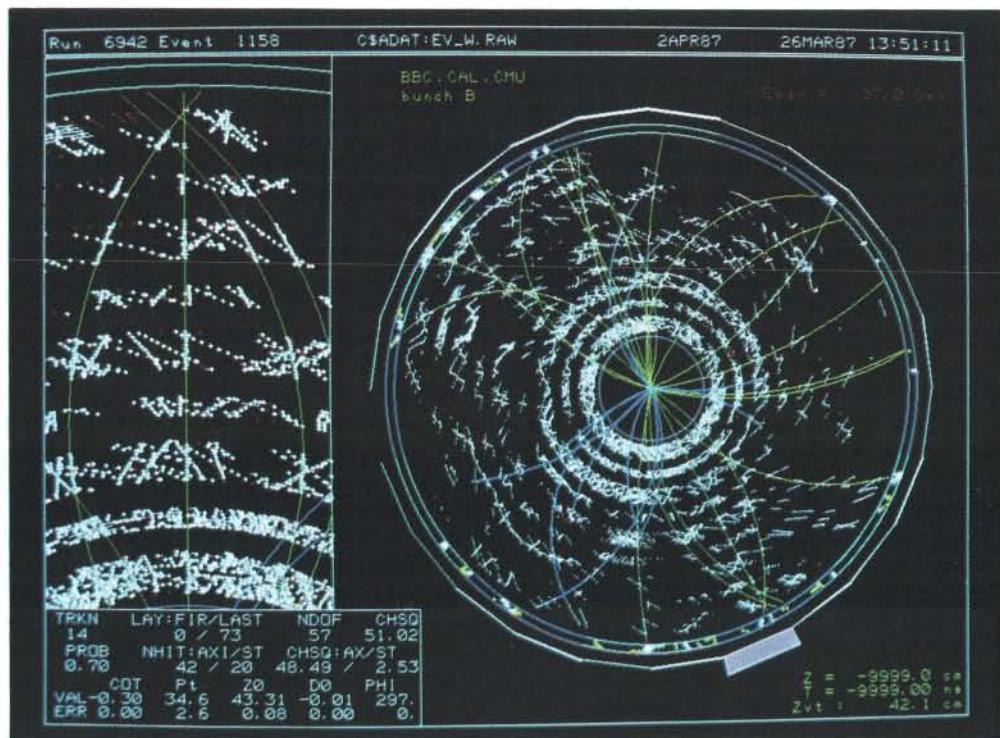
6

6. Bij gebruik van neutrino's of anti-neutrino's in diep-inelastische verstrooiingsexperimenten worden verschillende krachtdelijes (fotonen, W^- en W^+ -deeltjes) uitgewisseld. Daardoor kunnen we onderscheid maken tussen de diverse quark-smaken.

7. De grafiek geeft de kans weer om in een proton deeltjes te vinden met een bepaalde fractie van de impuls. Naast quarks en antiquarks komen daar ook gluonen voor.



7



8

8. Er ontstaan tientallen nieuwe deeltjes bij een botsing met een energie van 1800 GeV tussen een proton en een antiproton in het Tevatron. Tegenover het spoor in de vergrote weergave links, gemaakt door een elektron met een impuls van 34,6 GeV, ontbreekt in de computer-reconstructie waarneembare energie. Dit alles wijst op het verval van een W-deeltje in een elektron en een neutrino.

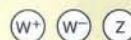
9. Enorme detectoren zoals deze, JADE, registreren de deeltjes die vrijkomen bij hoogenergetische botsingen tussen elektronen en positronen.

10. Elk van de vier basiskrachten kent zijn eigen krachtoverbrengende deeltjes.

11. Gepolariseerde fotonen blijken gevoelig te zijn voor quarks met verschillende spinoriëntaties.

Krachtoverbrengende bosonen

Zwakke kracht
 $W^- + Z$ -deeltjes



Elektromagnetische kracht
Foton



Sterke kracht
Gluonen



Zwaartekracht
Graviton

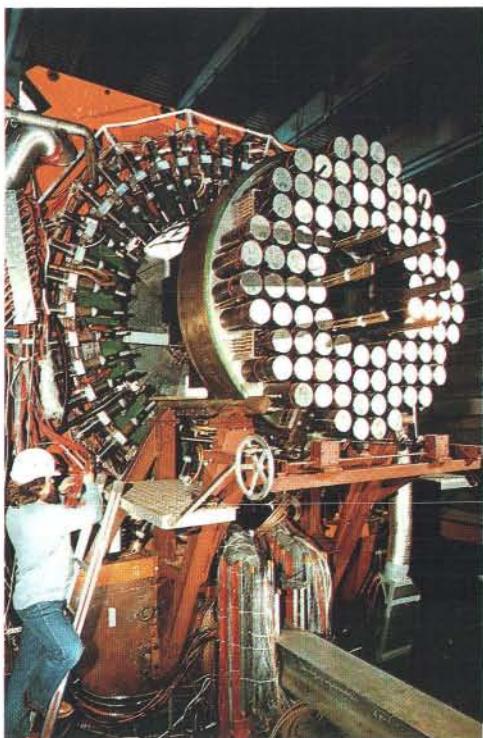


10

De tollende quarks

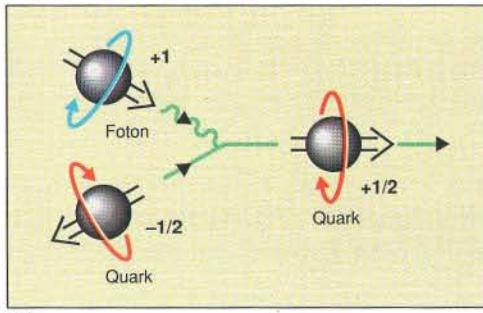
Naast de uitsplitsing naar quark-smaken, wilde men ook informatie krijgen over de spins van de quarks. Daarvoor waren experimenten nodig waarbij de uitgewisselde deeltjes gevoelig zijn voor quarks met verschillende spinoriëntaties. Het idee achter deze uitsplitsing is precies hetzelfde als bij het nagaan van de verschillende quark-smaken. Bij recente experimenten bij

CERN zochten de toevlucht tot muonen, die net als elektronen spin $\frac{1}{2}$ hebben. In de verstrooiingsexperimenten gebruikten de onderzoekers een bundel muonen, waarin alle muon-spins in dezelfde richting staan. Met een dergelijke gepolariseerde bundel is het mogelijk de verdeling van de spin van de quarks te meten. Afhankelijk van de polarisatie van de bundel, zal ook het uitgewisselde foton een spin hebben die +1 kan zijn. De spin van een quark kan

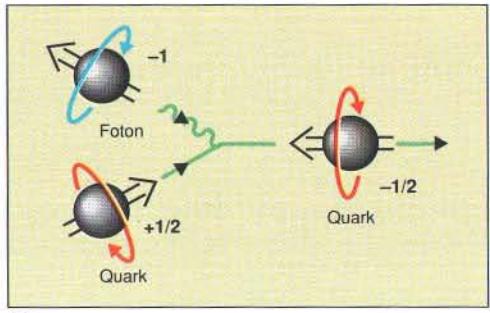


9

We kunnen zo dus onderscheid maken tussen quarks met een spin parallel en antiparallel aan de protonspin. Ook kunnen we de verdeling meten van de verschillende quark-oriëntaties (zoals up en anti-up). Door de resultaten uit deze diep-inelastische experimenten te combineren met andere bekende gegevens van het verval van neutron naar proton, kan het verschil worden vastgesteld tussen het aantal quarks met spin parallel aan de protonspin en het aantal quarks met spin antiparallel. Het resultaat was: aantal quarks \uparrow – aantal quarks \downarrow = $0,0 + 0,3!$ In het quark-model, waar lading, spin en magnetisch moment een gevolg zijn van de quarks, zagen we echter dat twee quarks parallel staan en één quark antiparallel staat aan het impulsmoment van het proton, wat betekent dat het verschil één is. Wat zijn de gevolgen van dit verrassende resultaat? Kan het quarkmodel de prullenmand in of is er nog een uitweg? Dit laatste lijkt op het eerste gezicht mogelijk. We hebben bijvoorbeeld reeds de elektrisch ongeladen gluonen genoemd. Deze krachtdeeltjes in het nucleon hebben een spin, net als het foton. Verder kunnen de quarks behalve het intrinsieke impulsmoment, de spin,



11a



11b

slechts $+\frac{1}{2}$ of $-\frac{1}{2}$ zijn. Vanwege het behoud van impulsmoment kan een quark met spin $+\frac{1}{2}$ geen foton met spin $+1$ absorberen, omdat dan de quarkspin na absorptie $+\frac{3}{2}$ zou zijn. Absorptie van het foton door een quark met spin $-\frac{1}{2}$ kan echter wel, aangezien de quarkspin na deze absorptie dan $+\frac{1}{2}$ is. Op dezelfde manier kan men nagaan dat een quark met spin $+\frac{1}{2}$ alleen in staat is om een foton met spin -1 kan absorberen (afb. 11).

ook een baanimpulsmoment hebben dat ontstaat door hun beweging in het nucleon. In beide gevallen moeten we dan echter wel vraagtekens zetten bij het eenvoudige model voor protonen, neutronen en de vele andere baryonen. De verklaring voor de verhouding $\frac{2}{3}$ van het magnetisch moment voor protonen en neutronen, berust bijvoorbeeld op het feit dat alleen de spins van de quarks bijdragen tot het totale impulsmoment.

Een dynamische oplossing

Eén aspect van diep-inelastische verstrooiings-experimenten biedt uitzicht op een oplossing die beide beelden toch nog met elkaar in overeenstemming kan brengen. Deze oplossing hangt direct samen met de wisselwerkingen van de quarks in het nucleon. Het theoretische raamwerk voor deze wisselwerkingen staat bekend als de *quantumchromodynamica* en beschrijft de krachten tussen gekleurde quarks als een uitwisseling van gekleurde gluonen. Zoals de quarks in drie kleuren voorkomen, komen in dit model de gluonen in acht kleuren voor. In de quantumchromodynamica is bewezen dat wan- neer de quarks zich op nog geen femtometer van elkaar bevinden, de onderlinge krachten zwak zijn. Dit fenomeen staat bekend als *asymptotische vrijheid*. Bij grotere afstanden (meer dan 1 fm) nemen de krachten sterk toe en kluisteren die de quarks in het proton. Doordat quarks en gluonen wisselwerken, wordt het be- grif van quark- en gluonverdelingen relatief. Binnen zeer korte afstanden en gedurende zeer korte tijden kan een quark een gluon uitzenden en daarna weer absorberen (afb. 12). Hoe groot afstand en tijd daarbij precies zijn, hangt weer af van de energie en impuls van het uitgezon- den gluon volgens de onzekerheidsrelatie in de quantummechanica. Vanwege de quark-gluonwisselwerkingen kan een gluon zich ma- nifesteren als een quark-antiquarkpaar.

De wisselwerkingen tussen quarks en glu-



12

In een diagrammati- sche representatie worden quarks weergegeven als enkele lijnen en gluonen als dubbele golven. Door quantummechanische

schommelingen kan een gluon uitgezonden en weer geabsorbeerd worden. Een gluon kan op deze wijze veranderen in een quark- antiquarkpaar.

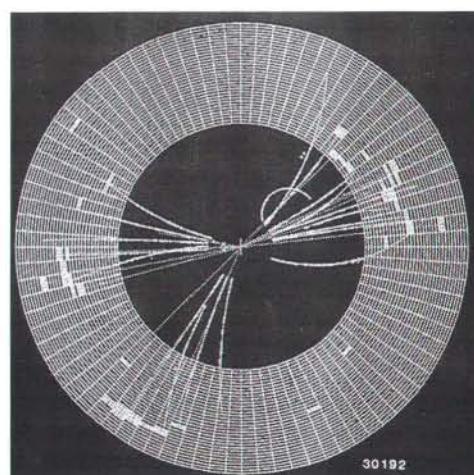
nen gaan ook een rol spelen in de eerder be- schreven diep-inelastische verstrooiingspro- cessen. We zagen al dat de diep-inelastische processen verlopen via de uitwisseling van een foton. De aanwezigheid van de wisselwerkin- gen tussen quarks en gluonen maakt de absorptie van het foton afhankelijk van het oplossend vermogen en dus van de impulsoverdracht Q (afb. 14). Bij een kleiner oplossend vermogen kan het voorkomen dat een quark vlak na het uitzenden van een gluon een foton absorbeert. Daardoor lijkt het dat dit quark een kleinere impuls heeft. Hoewel metingen met een beter oplossend vermogen een gedetailleerdeerder beeld geven van de impulsverdeling van de quarks in het proton, is dit dus wel een vertekend beeld. Ook zien we dat het foton indirect een interac- tie met het gluon kan hebben. Het gluon heeft zelf geen elektrische lading maar het gevormde quark-antiquarkpaar heeft dat wel. Bij vol-

13. Bij een botsing tussen een elektron en een proton in de botsingsring PETRA in Hamburg, gaan deze deeltjes over in een quark, een antiquark en een gluon. Uit elk van deze

deeltjes ontstaat vrij snel een 'jet' van deeltjes. Uit het aantal, de massa en de richting van de deeltjes be- rekent men de energie van het oorspronkelijke quark of gluon.

14. Bij 'laag' oplossend ver- mogen krijgt men een duidelijk beeld van een quark. Bij een hoger oplossend ver- mogen daarentegen kan een quark als een

quark met lagere impuls worden waargenomen of lijkt een gluon op een quark. De bol in dit schema komt overeen met het op- lossend vermogen.



13

doende hoog oplossend vermogen lijkt het dus alsof het gluon een ladingsverdeling heeft. Omdat de gluonen een spin hebben, wordt op precies dezelfde wijze de spinverdeling van de quarks in het proton vertekend. De afhankelijkheid van het oplossend vermogen ofwel van de impulssoverdracht wordt beschreven als een evolutie van de quark- en gluonverdelingen bij toenemend oplossend vermogen.

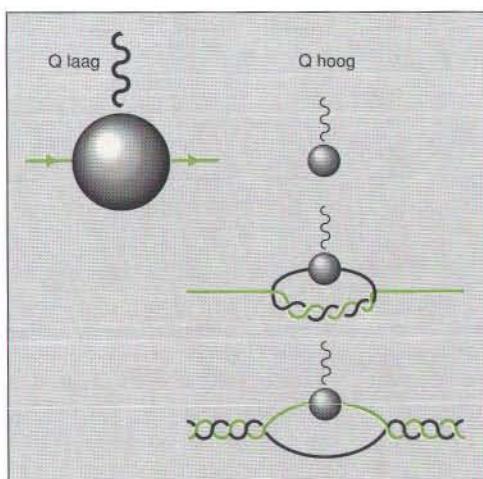
De beschreven dynamische effecten zijn een mogelijke verklaring voor de spinpuzzel van het proton. Voor wat betreft het quarkmodel is het oplossend vermogen gelijk aan de straal van het proton. Het enige wat van belang is, zijn de globale eigenschappen van de quarks: lading en spin. De diep-inelastische verstrooiingsexperimenten worden echter gekenmerkt door hoge impulssoverdracht (ofwel hoog oplossend vermogen), waarbij de geëvolueerde quark- en gluonverdelingen zijn veranderd.

Een probleem blijft dat we de hierboven beschreven ontwikkeling van de partonenverdelingen alleen kunnen berekenen wanneer de krachten tussen de quarks voldoende zwak zijn. Als we gaan van een oplossend vermogen van 0,01 fm naar 0,1 fm kunnen we de ontwikkelingen van de verdelingen nog wel berekenen. Die lijken de goede richting in te gaan, namelijk een verschuiving van de spin van de gluonen naar de quarks. De stap naar het domein van het quarkmodel waar kluistering van quarks intreedt (0,5 fm), valt echter niet te maken, omdat het aantal wisselwerkingen tussen quarks

en gluonen daar te groot is. Het is daarom nog niet duidelijk of de genoemde verschuiving voldoende is.

Met spanning kijken fysici nu uit naar nieuwe experimenten waarbij gepolariseerde muonen botsen met gepolariseerde neutronen, of preciever gezegd met gepolariseerde deuterium- of ^3He -atoomkernen, want een vrij neutron leeft niet langer dan vijftien minuten. In die proeven kunnen zij namelijk een combinatie van quark-spinoriëntaties voor up- en downquarks meten die onafhankelijk is van het oplossend vermogen, net zoals het netto aantal up-quarks altijd twee is, onafhankelijk van het oplossend vermogen. Wanneer deze meting niet overeenkomt met de verwachting, is er iets fundamenteels mis met onze theoretische inzichten. Door de complexiteit van deze experimenten zullen theoretici echter nog enige jaren geduld moeten hebben.

De beschreven experimenten en de hiervoor opgestelde theorieën hebben geleid tot een dieper inzicht in de structuur van de materie, in het bijzonder de rol die de diverse quark-smaken en de spins van quarks en gluonen hierin spelen. We hebben op dit moment nog een incompleet beeld van deze structuur. Wat we zien is hoe nieuwe experimentele mogelijkheden, bijvoorbeeld het gebruik van polarisatie of het opvoeren van het oplossend vermogen, verrassingen opleveren en nieuwe vragen opwerpen. Ze houden daarmee de belofte in van wetenschappelijke vooruitgang.



Literatuur

Van quantum tot quark. Utrecht: Stichting Teleac, 1989.
Holten JW van. Verrassende verstrooiing - Nobelprijs natuurkunde 1990. Natuur & Techniek 1990; 58: 12, 840 - 847.

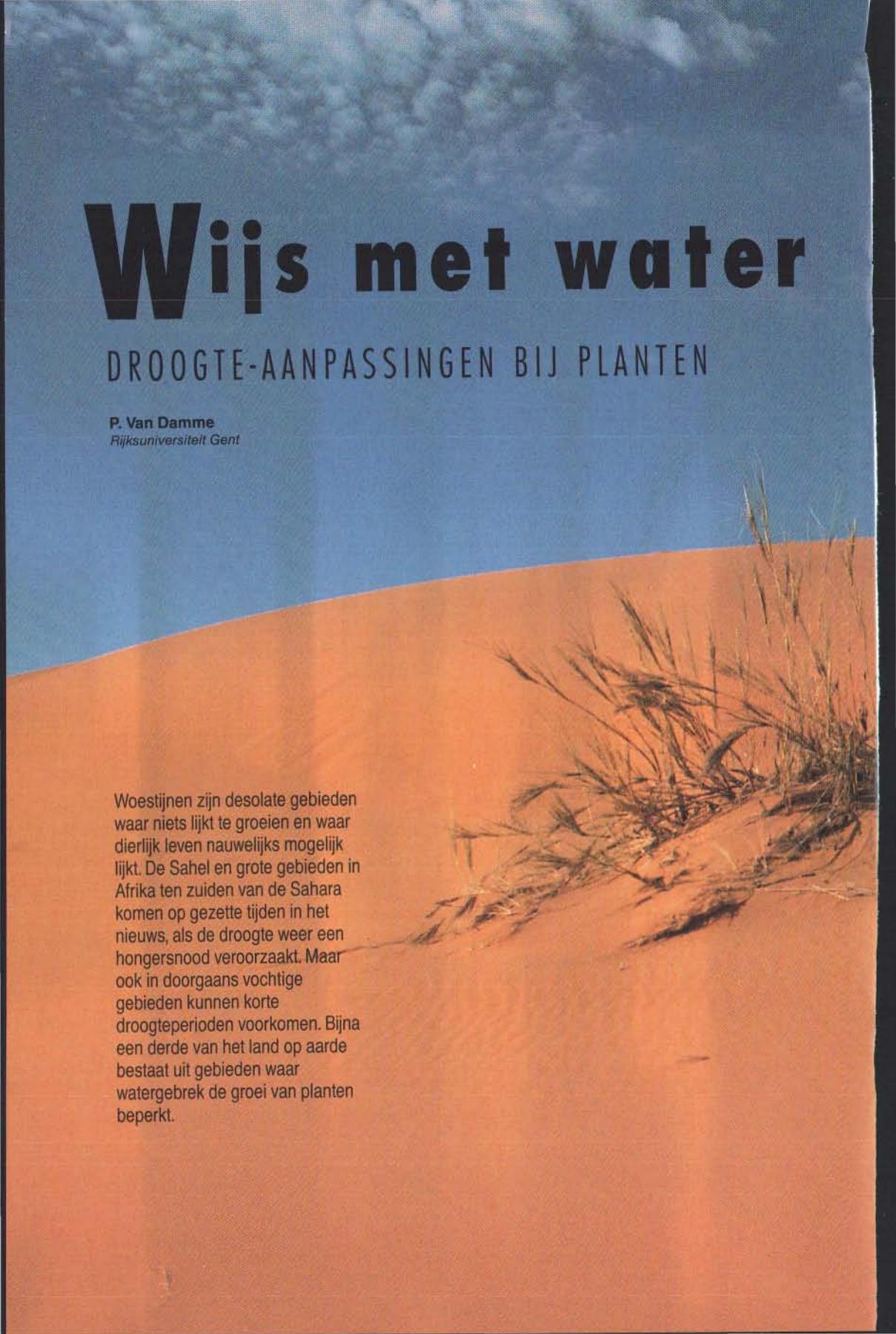
Bronvermelding illustraties

Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois: pag. 448-449, 3, 8.
CERN, Genève: 4.
DESY, Hamburg: 9, 13.
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

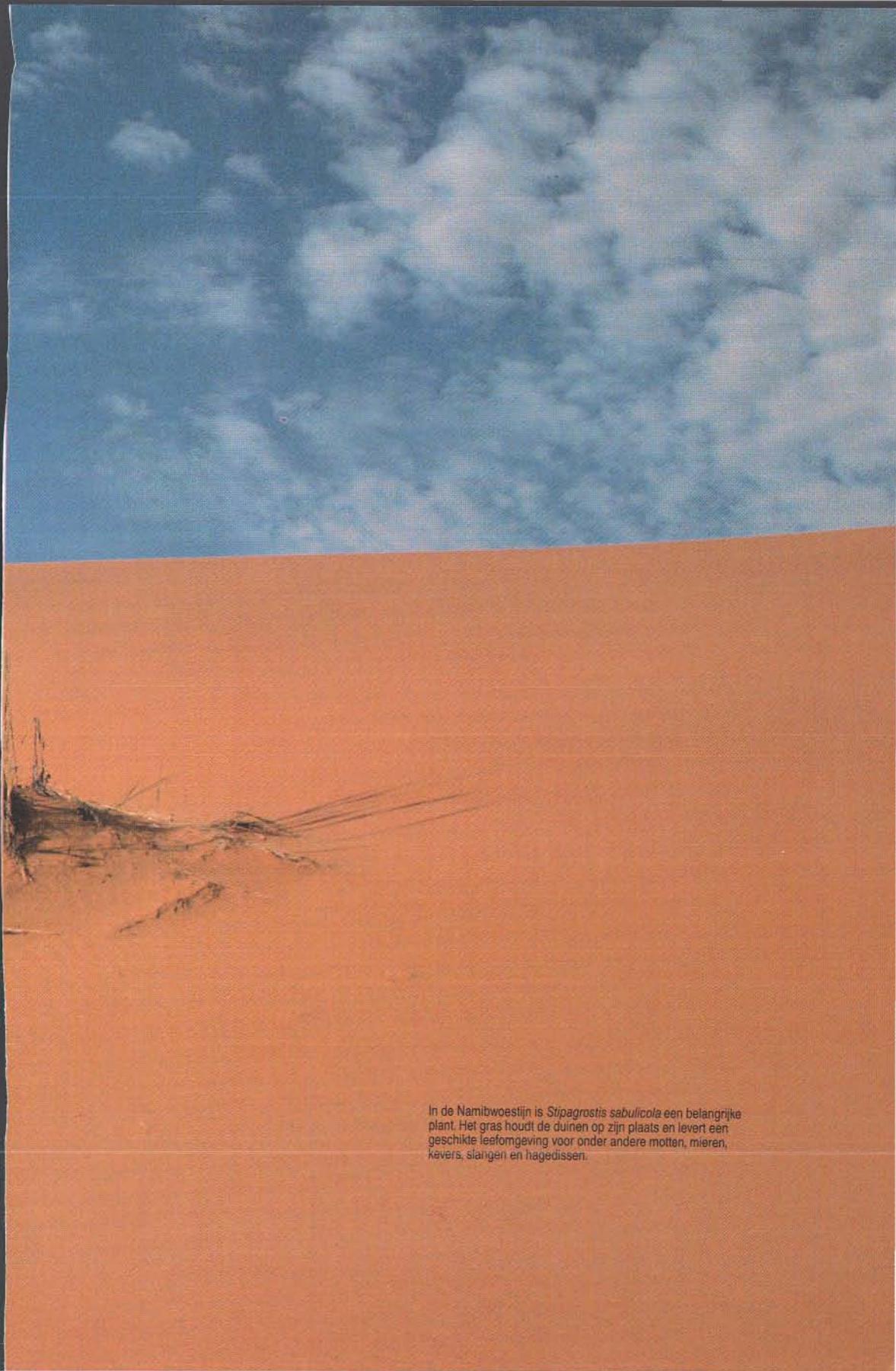
Wijs met water

DROOGTE-AANPASSINGEN BIJ PLANTEN

P. Van Damme
Rijksuniversiteit Gent



Woestijnen zijn desolate gebieden waar niets lijkt te groeien en waar dierlijk leven nauwelijks mogelijk lijkt. De Sahel en grote gebieden in Afrika ten zuiden van de Sahara komen op gezette tijden in het nieuws, als de droogte weer een hongersnood veroorzaakt. Maar ook in doorgaans vochtige gebieden kunnen korte droogteperioden voorkomen. Bijna een derde van het land op aarde bestaat uit gebieden waar watergebrek de groei van planten beperkt.



In de Namibwoestijn is *Stipagrostis sabulicola* een belangrijke plant. Het gras houdt de duinen op zijn plaats en levert een geschikte leefomgeving voor onder andere motten, mieren, kevers, slangen en hagedissen.

De totale hoeveelheid plantaardig materiaal in droge tot extreem droge gebieden ligt in de grootte-orde van één tot tien ton per hectare. Dat is klein in vergelijking tot vochtige tropische gebieden, waar de hoeveelheid kan oplopen tot honderd ton per hectare. Daar staat tegenover dat de zogenaamde *relatieve primaire produktie* er aanmerkelijk groter is: in een droog gebied met een begroeiing van tien ton planten per hectare kan jaarlijks anderhalf tot vijf ton nieuw plantaardig materiaal ontstaan. De produktie van plantaardig materiaal ten opzicht van de aanwezige hoeveelheid begroeiing, de relatieve primaire produktie, is dus 0,15 à 0,5. Dat is drie- tot tienmaal zoveel als in de vochtige tropen.

Droogtebestendig

Tal van plantensoorten hebben mechanismen ontwikkeld die hen in staat stellen te groeien en zich te vermenigvuldigen in extreem droge omstandigheden. Deze planten, de *xerofyten*, beschikken over morfologische, anatomische en fysiologische aanpassingen die hen onderscheiden van de *mesofyten*, de gewone landplanten die minder of helemaal niet tegen de droogte bestand zijn.



1

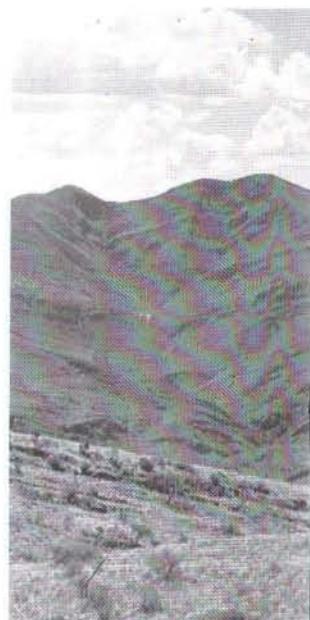
Het dichtst bij de mesofyten staan de *efemeren*. Efemeren kiemen, groeien en bloeien tijdens het regenseizoen. Ze leven bij voorkeur op ondiepe plaatsen in het terrein waar het water zich verzamelt. Als het droge seizoen intreedt, verwelken de planten en sterven ze af. Efemeren overbruggen de droge periode als zaad. Omdat ze op deze manier de droogte ontwijken, zijn ze strikt genomen niet droogteteristent.

Tegenover deze beperkte groep planten staat de uitgebreide groep van echt *droogteresistente* planten. Een deel ervan vermijdt in zekere zin de belasting die ontstaat door de droogte. Deze *vermijders* proberen tijdens het natte seizoen de koolstofassimilatie zó te maximaliseren, dat er genoeg reserves worden opgebouwd om vóór het intreden van het droge seizoen tot zaadzetting te komen. Naast de vermijders is er een groep van *droogtelolerante* planten, die ook onder extreme droogte ‘gewoon’ doorgroeien.

Binnen de groep vermijders vinden we twee strategieën om de belasting van de droogteperiode te ontwijken. De *water-savers* springen spaarzaam met water om, terwijl de *water-spenders* er kwistiger mee zijn. Water-savers beperken het waterverlies via aanpassingen in de bladeren.

1. Verwelken, zoals de blaadjes van deze citroenboom, is een passieve bescherming tegen verder uitdrogen. De slappe, opgerolde bladeren vangen minder zonlicht op en verdampen minder water dan normaal uitstaande bladeren.

2. Zeifs aan de rand van een woestijn is het vaak al zo droog dat plantengroei er nauwelijks mogelijk is, maar dankzij vernuftige aanpassingen steekt overal wel ergens een spruitje groen de kop op.



2

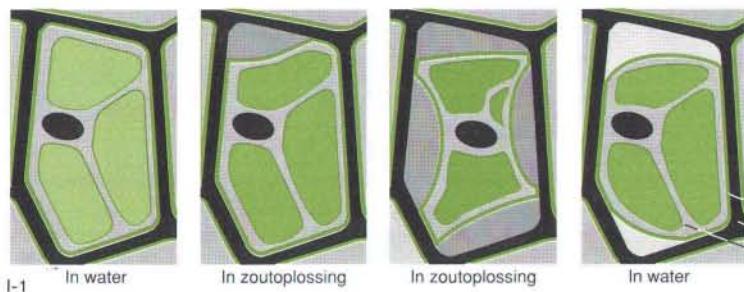
Water in plant en bodem

INTERMEZZO

Water is een essentieel bestanddeel van levende wezens. Of een plant voldoende water aan zijn omgeving kan onttrekken, hangt van een aantal factoren af. Een eerste factor is de zuigspanning of osmotische waarde van de plantecellen. Die osmotische waarde is afhankelijk van de concentratie opgeloste stoffen in de cellen. Hoe geconcentreerder de celinhoud, des te groter is zijn osmotische waarde en des te sterker is zijn waternauwkeurigend vermogen. Een tweede factor is de capillaire werking van celwand en een derde is de wanddruk. Die wanddruk is een gevolg van de 'vulling' van de cel met vocht. Het aangezogen water zet de celwand van binnen uit onder druk. De wand wordt daardoor opgerekt en zal een

tegendruk op de celinhoud uitoefenen en die tegen druk zal het verder aanzuigen van water beperken.

In een droge bodem is de osmotische waarde van het daar resterende water een probleem. Eigenlijk speelt hier hetzelfde probleem als in een zoute bodem. In een droge bodem is de concentratie van opgeloste stoffen in het weinige overblijvende water hoog opgelopen. Daardoor is de waternauwkeurigende werking van het bodemwater groot. De bodem zal water aan de plant proberen te onttrekken. De belangrijkste tegenkracht die de plant daartegen in stand kan brengen is het verhogen van de osmotische waarde van de cellen. En dat is nu precies wat droogtolerante planten doen.



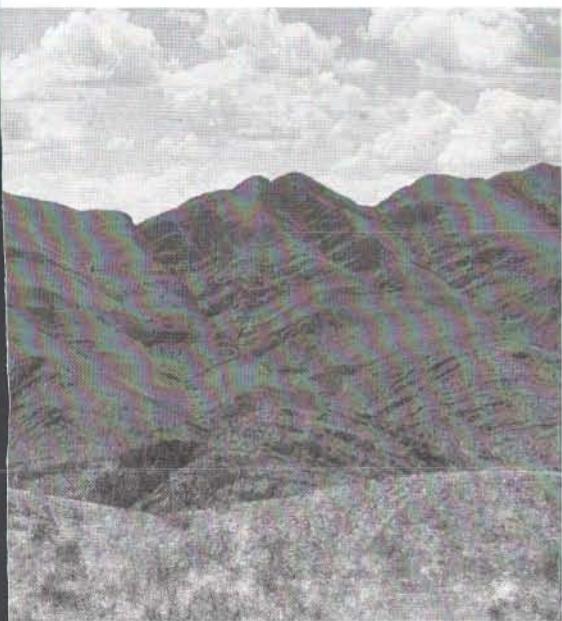
I-1. In een zoutoplossing met een hogere osmotische waarde dan het cytoplasma, zal een plantecel water verliezen aan zijn omgeving. Dit gaat door tot de osmotische waarde in de cel gelijk is aan die daarbuiten. Terug in water 'zuigt' de cel zich weer vol.

Cellmembraan
Celwand
Cytoplasma

Water-savers

Als bladeren water verliezen, kunnen ze verwelken, zich oprullen en neerhangen. Wanneer verwelkende bladeren gaan hangen, verliezen ze hun normale oriëntatie ten opzichte van de invallende zonnestralen. Als verwelken leidt tot het oprullen van de bladeren, zoals bij sommige grassen en bromelia's, dan vormt het blad een bijna gesloten koker. Opgerold verliest het blad bijna geen water door verdamping. Zowel neerhangende als opgerolde bladeren staan aan minder zonnestraling blootgesteld. Dit leidt tot een lagere bladtemperatuur en dus tot een geringer waterverlies, maar ook tot afname van de koolstofassimilatie. De stofwisseling van de plant staat dan dus op een lager pitje. Deze passieve processen beschermen de plant tegen vergaande uitdroging, mits de droogte niet te lang aanhoudt.

Bij droogtestress vormen de water-savers doorgaans kleinere bladeren. Dit verschijnsel is



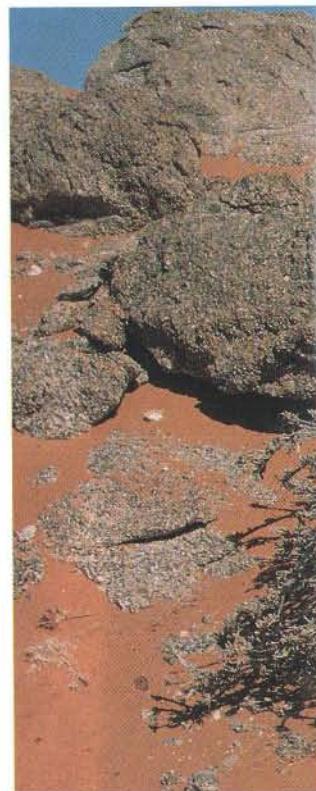
vooral het gevolg van verminderde groei van de bladcellen. Sommige planten vormen in de droge periode een andere bladtype dan in het regenseizoen. Op die manier kunnen sommige xerofyten een aantal malen per jaar hun bladeren afwerpen en nieuwe laten groeien.

Kleine bladeren hebben in verhouding tot hun inhoud een groter oppervlak dan grote bladeren. Men zou kunnen vermoeden dat deze oppervlakte-inhoudverhouding tot een groter waterverlies leidt en dus geen geschikte aanpassing is aan droge omstandigheden. Daar staat echter tegenover dat kleinere bladeren ook hun warmte sneller verliezen. De lagere bladtemperatuur die hiervan het gevolg is, leidt netto toch tot een geringere verdamping.

Planten die hun afgeworpen bladeren niet vervangen tot het volgende vochtige seizoen, zullen hun waterverlies ook beperken. Als de overblijvende planteleden geen koolstofassimilatie kunnen uitvoeren, heeft men te maken met *aridopassieve* planten. *Aridoactieve* planten daarentegen blijven fotosynthetisch actief. Tot deze groep behoren de zogenaamde CAM-planten (zie verder), die met hun groene stengels nog bij extreme droogte koolstof assimileren. Sommige plantensoorten die vooral via de stengels koolstofdioxide opnemen, kunnen bij

3. Ogenschijnlijk is deze struik, in het overgangsgebied tussen de Namibische zand- en steenwoestijn, dood. Dat lijkt echter maar zo doordat de blaadjes sterk gereduceerd zijn, uiteraard om de verdamping te beperken.

4. De wollige beharing van de Namibische edelweiss beschermt de plant tegen te grote opwarming en te sterke verdamping.



3



4

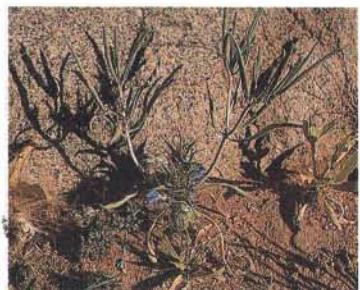


5. De daalderplant probeert met zo weinig mogelijk water rond te komen door zijn bladeren midden op de dag met de rand naar de zon te draaien.

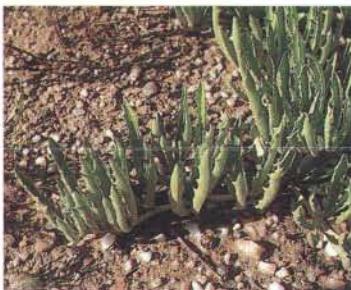


5

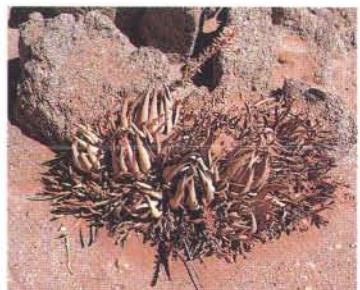
6, 7 en 8. Oprollen is een manier om gedeeltelijk in je eigen schaduw te groeien en tegelijkertijd de verdamping te beperken. *Blepharis* (6) past deze methode toe op een gunstige standplaats: als het een keer regent verzamelt het water zich aan de voet van het rotsblok. Deze *Aloe*-soort (8) maakt naast oprollen ook gebruik van *survival by partial death*. Bij te grote droogte sterven de oudere bladeren af en hoopt het vocht zich in jongere weefsels op.



6



7



8

extreme droogte zover gaan dat ze zelfs een deel van hun stengels afstoten in een poging de droogte te overleven. Bij deze *survival by partial death* splitst de hoofdstengel zich op in een aantal onafhankelijke deelstengels. In extreem droge jaren sterft een deel van deze stengels af terwijl er een paar blijven leven die de plant door de droogte heenhelpen.

Bij *Atriplex hymenelytra* staan de bladeren schuin-verticaal aan de stengels. Sommige plantensoorten kunnen de bladstand actief en omkeerbaar veranderen om de bladtemperatuur laag te houden en zo het waterverlies te beperken. 's Avonds en 's morgens, bij een lage zonnestand, is het koeler en is de relatieve luchtvochtigheid hoger. De bladeren richten zich dan loodrecht op de invallende zonnestralen. Heel wat vlinderbloemigen die opgroeien onder droge omstandigheden, volgen 's morgens met hun bladeren de zon, terwijl vanaf de middag de blaadjes verticaal gaan staan om het zonlicht te mijden. De planten slagen er dus in om de warmteoverlast te beperken en tegelijkertijd efficiënt te groeien.

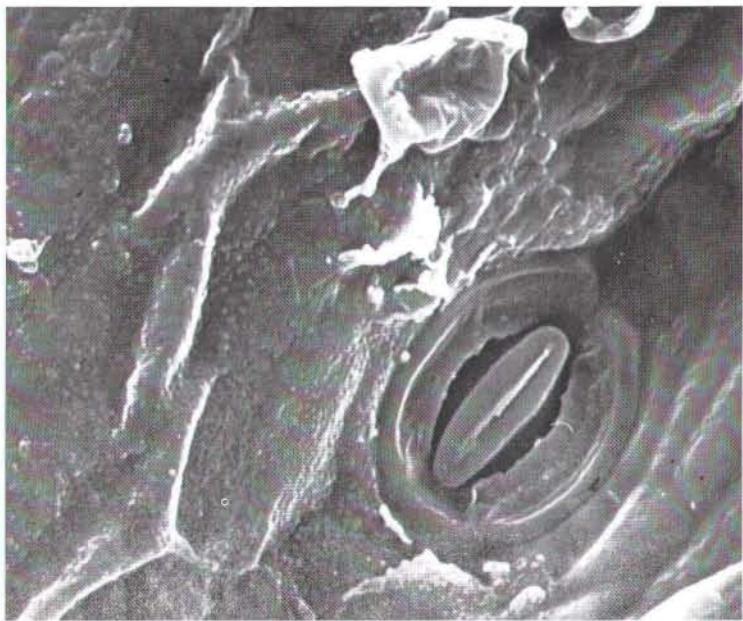
De verdamping kan ook worden beperkt door een sterk ontwikkelde of verdikte buitenste bladcellaag. Deze cellaag, de *epidermis*, geeft de bladeren vaak nog een extra bescherm-



9

9. Deze *Probergrothius*-wants slijt zijn gehele levenscyclus op de plant *Welwitschia mirabilis*. We zien het dier hier rondkruipen op de bloeijwize van een vrouwelijke plant.

10 en 11. De gaswisseling van planten (CO_2 -opname, H_2O - en O_2 -afgifte) verloopt via huidmondjes, openingen in blad of stengel die de plant naar believen kan sluiten. Om de verdamping te beperken kan de plant de huidmondjes sluiten en liggen ze vaak niet direct aan het oppervlak van blad of stengel. De huidmondjes van *Euphorbia tirucalli* liggen in stengelgroeven en zijn omgeven door een kokertje van was (10 en 11 boven). De waslaag over de buitenste cellen helpt water vast te houden. *Gasteria nigricans* (11 onder) vertoont soortgelijke aanpassingen. De plant heeft echter geen waslaag, maar een sterk verdikte buitenste celwand.



10



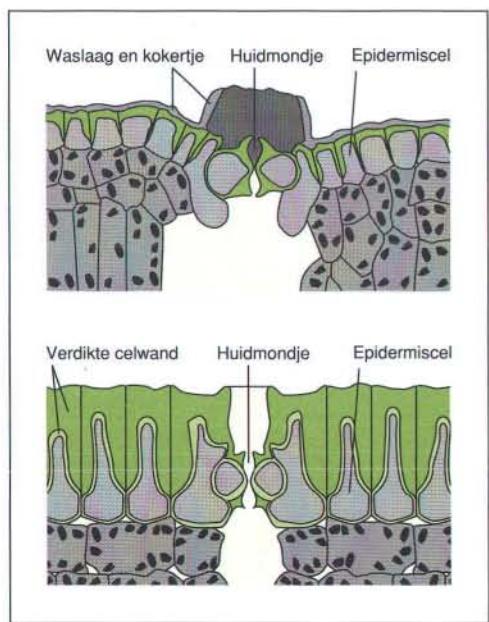
ming mee doordat hij hars- of wasachtige stoffen vormt. Een waslaag, de *cuticula*, dekt het bladoppervlak dan af. Bij een lage luchtvochtigheid en een hoge stralingsenergie kan de wasproductie vlug op gang komen. We kennen dit verschijnsel ook van cultuurplanten als katoen en soja.

Verdamping vindt vooral plaats via de huidmondjes en in mindere mate via de cuticula. Huidmondjes zijn openingen in de epidermis



12. *Euphorbia damarana* is een CAM-succulent die in droge perioden geen bladeren draagt. Dit exemplaar draagt een net uitgebloeide vrouwelijke bloem op de stengel. Een waslaag beschermt de stengel tegen uitdroging.

12



11

die toegang geven tot het inwendige van stengels en bladeren. Zij kunnen zich openen en sluiten naar gelang de omstandigheden dat vereisen. Wanneer de huidmondjes zijn geopend, kunnen de stengels en de bladeren koolstofdioxide en zuurstof uitwisselen met hun omgeving, maar met geopende huidmondjes zal ook de verdamping groter zijn.

In droge omstandigheden vormt een plant bladeren met meer en kleinere huidmondjes dan wanneer het vochtig is. In een aantal gevallen zijn de huidmondjes min of meer bedekt door de cuticula of de epidermis. Bij bepaalde soorten komen huidmondjes voor in groepen die al of niet zijn afgeschermd door schubben of haren. Al deze aanpassingen vergroten de afstand die de waterdamp moet afleggen tijdens het verdampingsproces. Doordat tegelijkertijd de windsnelheid ter hoogte van het verdampend oppervlak daalt door de aanwezigheid van uitgroeiingen, wordt de verdamping nog meer bemoeilijkt.



13



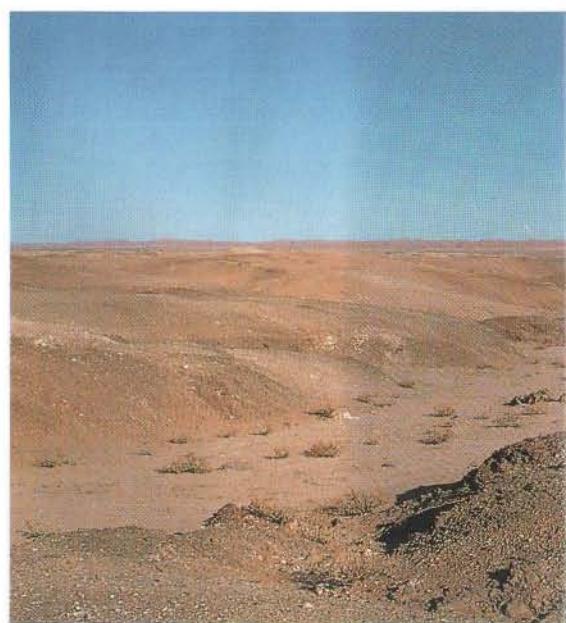
14

Gaswisseling zonder waterverlies

Het probleem van planten in een droge omgeving is kort gezegd het volgende. Aan de ene kant moet de plant open staan voor zijn omgeving om koolstofdioxyde en zuurstof te kunnen uitwisselen, anderzijds moet hij zich afsluiten van zijn omgeving om waterverlies te beperken. Overdag, als de zon schijnt, moet de plant zijn huidmondjes openen om koolstofdioxide op te nemen voor de koolstofassimilatie, maar juist dan is het gevaar van uitdroging het grootst. De zogenaamde CAM-planten hebben een vernuftige oplossing voor dit probleem ontwikkeld.

CAM is de afkorting van *Crassulacean Acid Metabolism*. Dit stofwisselingsproces is in heel wat plantenfamilies onafhankelijk van elkaar ontstaan. Bij CAM-planten blijven de huidmondjes overdag vrijwel gesloten en zo beperken zij de verdamping tot een minimum. 's Nachts gaan de huidmondjes open en dan kan koolstofdioxide de plant binnengaan. Vervolgens wordt dit gekoppeld aan een organische stof waardoor appelzuur ontstaat. Als de dag weer aanbreekt wordt het appelzuur ontleed en komt het koolstofdioxide in de plant vrij. Zo kan de koolstofassimilatie met gesloten huidmondjes verlopen.

De planten die in het algemeen het best zijn gewapend tegen droogtestress, zijn de *succulenten* of vetplanten. Zij stapelen water op in fotosynthetisch-actieve organen. De succulenten combineren tal van de hierboven genoemde anatomisch-morfologische aanpassingen met fysiologische eigenschappen zoals het crassula-



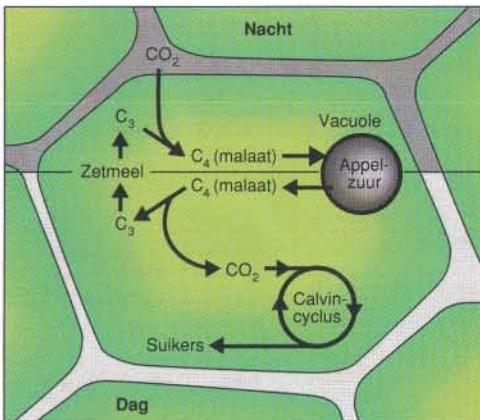
15

ceëenzuurmetabolisme, de overdracht van water van wateropstapelend weefsel naar fotosynthetisch weefsel en de overdracht van water van oude naar jongere weefsels. Een aantal succulentensoorten vormt bladeren die deels onder de grond begraven blijven zodat alleen de bovenkant staat blootgesteld aan zonlicht. De bovenste cellagen zijn meestal doorzichtig en dat heeft tot de Engelse benaming *window leaved succulents* geleid.

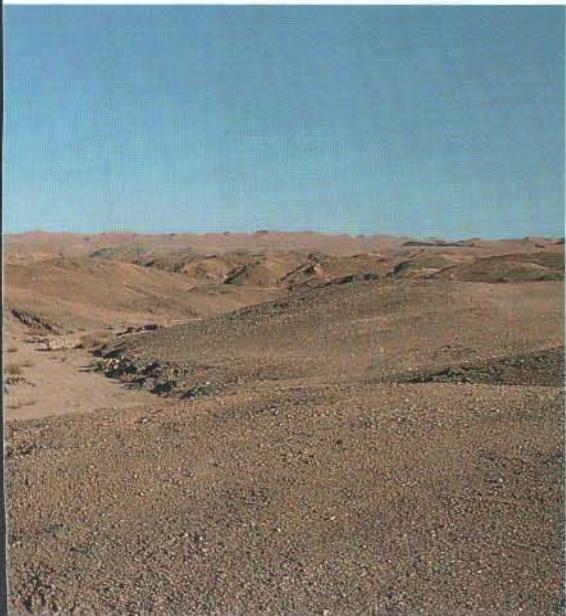
13, 14 en 15. Welwitschia mirabilis is een merkwaardige plant, die voorkomt in het steenwoestijngedeelte van de Namib. De plant groeit in beddingen die hooguit enkele malen per jaar water voeren. De plant is tweehuizig en kent dus mannelijke (14) en vrouwelijke (9) planten. Opmerkelijk is dat de plant slechts twee bladeren heeft, die vanuit de bladbasis groeien. De twee bladeren scheuren uiteen tot vele slissen. De uiteinden van de bladeren sterven geleidelijk af wanneer ze de (hete) bodem raken.

16. 's Nachts, als de huidmondjes van een CAM-plant geopend zijn, neemt de plant CO_2 op, om dat in de vorm van appelzuur op te slaan. Overdag gebruikt de plant die appelzuurvoorraad in de fotosynthese; de huidmondjes blijven gesloten.

17. Merk op dat de ruimten tussen de ribben van deze succulente, cactusachtige plant beschaduw zijn. De huidmondjes die daar liggen zijn dus goed beschermd tegen de grote opwarming of te harde, uitdrogende, wind.



16



17

Veruit de bekendste succulenten zijn de cactussen. De groeven, knobbels en uitsteeksels op de stam zijn een compromis van aanpassingen. Zij zorgen voor een voldoende groot oppervlak om de opname van koolstofdioxide veilig te stellen, terwijl ze tegelijkertijd schaduw werpen op andere delen van het cactuslichaam. De ribben laten ook toe dat de cactus bij wisselende watervoorziening kan krimpen en uitzetten als een accordeon. Veel cactussen zijn bezet met

grote, lichtgekleurde stekels. Stekels zorgen voor bijkomende schaduw, verbruiken weinig energie, zorgen voor een snelle uitstraling van warmte en hebben gezien hun structuur minder te lijden van uitdrogende wind. Lichtgekleurde stekels reflecteren ook beter het zonlicht. Een bijkomend voordeel van deze venijnig scherpe organen is dat eventueel geïnteresseerde dieren de stekelplanten minder appetijtelijk zullen vinden.

Water-spenders

Naast de water-savers, die vooral proberen het kostbare water zo goed mogelijk vast te houden, zijn er de water-spenders die kwistiger met water omspringen. Zij kunnen tijdens de droogteperiode veel water verliezen, maar compenseren dit verlies doordat ze in korte tijd zeer veel water kunnen opnemen. Meestal hebben deze spenders een groot wortelstelsel en een grote hoeveelheid geleidingsweefsel. Er zijn soorten bekend die hun wortels tot vijftig meter diep of tachtig meter ver uitsturen. De aanpassingen van de water-spenders zijn erop gericht een zo groot mogelijke waterstroom op gang te houden.

In het voorafgaande hebben we vooral aandacht besteed aan ontwijkingsmechanismen. Een deel van de droogteresistente planten is echter droogtetolerant. Het belangrijkste mechanisme bij deze planten is dat van de osmotische aanpassing. Bijna alle planten zijn in staat om de concentratie van opgeloste stoffen in hun cellen te verhogen. Hierdoor stijgt de osmotische waarde van de cellen en dit heeft weer tot gevolg dat water beter kan worden opgenomen en vastgehouden. De aard van de opgeloste stoffen verschilt van soort tot soort, maar er zijn stoffen die bij tal van planten voorkomen.

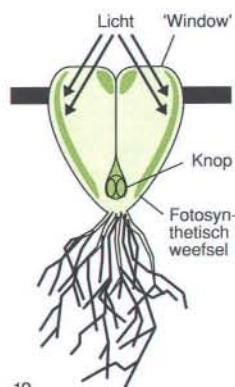


18



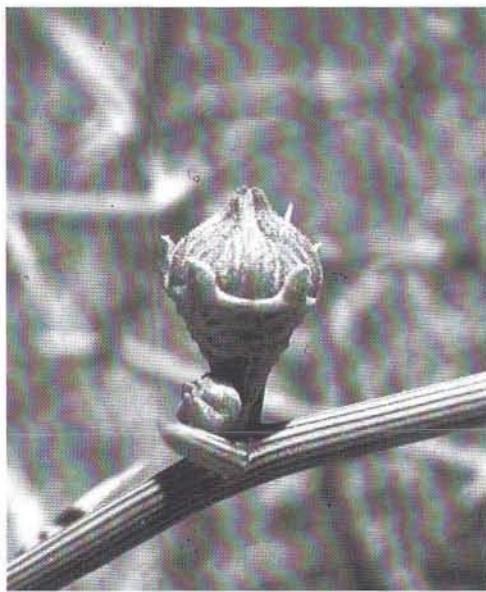
20

20 en 21. De bewoners van de Namib waarderen de voedzame, komkommerachtige vruchten van *Acanthosicyos horrida* om het vele water dat erin zit. De gestekelde plant heeft sterk gegroefde stengels en is vrijwel bladerloos. De huidmondjes bevinden zich in de stengelgroeven. Afbeelding 21 toont enkele vrouwelijke bloemknoppen.



18. Veel droogteplanten beschikken over stekels. Ze bieden bescherming tegen planteneters, die in de verzengende woestijn een sappig blaadje niet vertrouwen.

19. 'Levende steentjes' zijn zogenaamde *window leaves*. Ze groeien grotendeels onder de grond. De doorschijnende bovenkant van de bladeren laat echter zoveel licht door dat fotosynthese mogelijk is.



21

Heel wat planten gebruiken bijvoorbeeld ionen (vooral K^+). Tal van anderen doen een beroep op organische verbindingen zoals koolhydraten, alcoholen en organische zuren. Appelzuur en citroenzuur komen vooral voor bij CAM-planten.

Zowel mesofyten als xerofyten zijn tot osmoregulatie in staat om droge periodes door te komen. Mesofyten haken echter eerder af. Zij slagen er niet in hun osmotische waarden zó te verhogen dat zij extreme situaties kunnen verdragen.

Droogtetolerante planten kunnen ook de eigenschappen van de celwanden veranderen zodat de rekbaarheid ervan groter wordt. Te grote uitdroging van het cytoplasma leidt meestal tot onomkeerbare veranderingen met fatale afloop. Zo gaat bij extreme uitdroging veelal de structuur van enzymen verloren. Een aantal soorten slaagt erin de enzymen in het cytoplasma speciaal te beschermen. Men onderscheidt zelfs een groep zogenaamde 'verrijzenisplanten' die zich zo goed hebben gewapend dat ze kunnen overleven in een totaal droog milieu. Een deel van deze planten bewaart de fijne structuur van het cytoplasma in verschompelde vorm, terwijl andere hun membraanstructuur verliezen, maar die weer opnieuw opbouwen bij bevuchting via regen of dauw.

De redactie dankt drs G.P.Th. Kloeg uit Utrecht voor zijn hulp bij de bewerking van dit artikel.

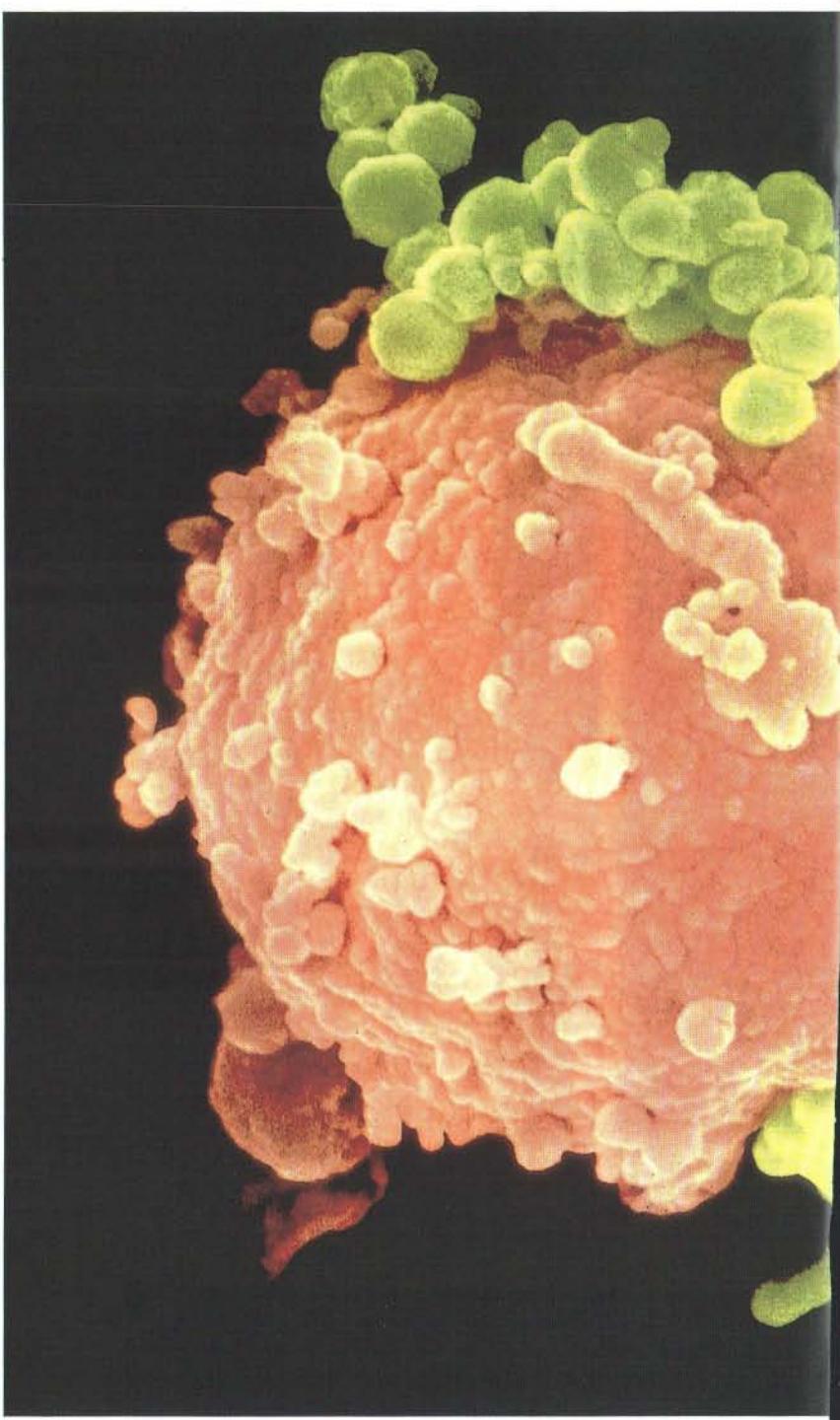
Literatuur

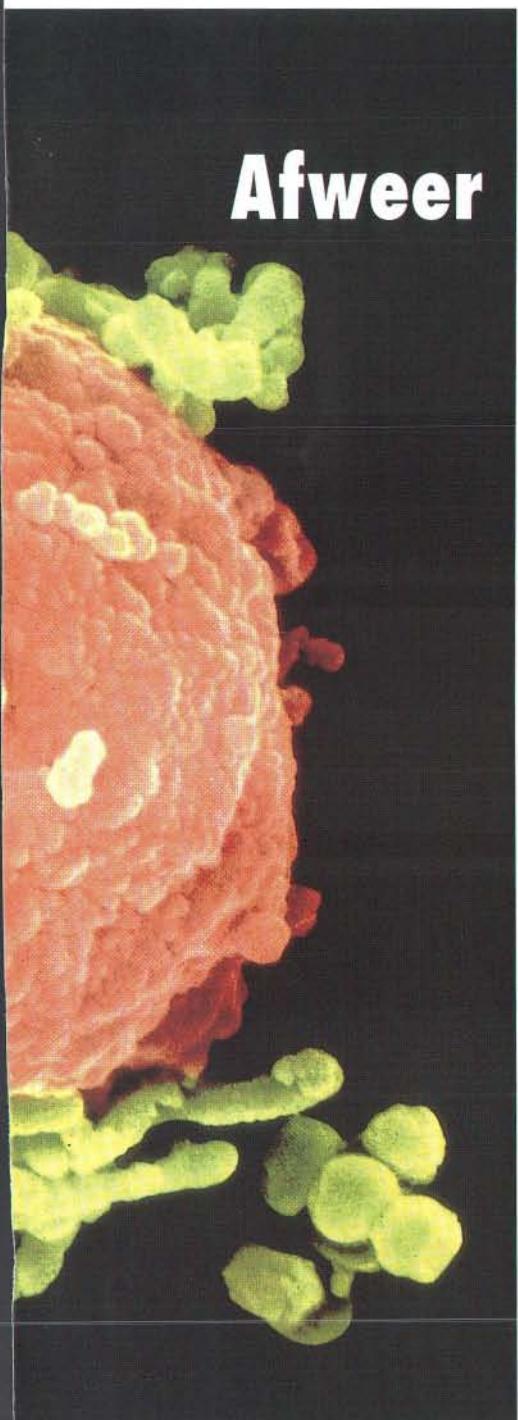
Dumont H, Smet K De. Strijd tegen de droogte - Leven in de woestijn. Natuur & Techniek 1989; 57: 10, 742-753.
Samyn GLJH. Bromelia's - Oerwoud achter glas. Natuur & Techniek 1990; 58: 6, 464-475.

Bronvermelding illustraties

Alle afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

IMMUNOLOGISCHE ORGAANTJES





Afweer

R.H.J. Beelen
Vakgroep Celbiologie
Faculteit der Geneeskunde
Vrije Universiteit Amsterdam

ter plaatse

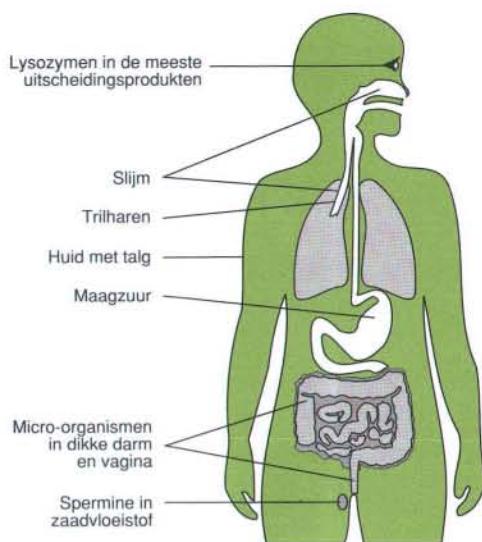
Het omentum, het vlies dat in de buikholte om de maag hangt en de darmen bedekt, vindt in de chirurgie toepassing bij de bekleding van de meest akelige wonderen die men zich kan voorstellen. Die helen daarbij spectaculair snel en mooi. Op zoek naar het antwoord op de vraag hoe het komt dat het omentum zo goed werkt, is gebleken dat het fungeert als een soort plaatselijke 'immuunfabriek'. In het vlies komen vele orgaanjes voor, die in de afweer tegen indringers heel specifiek kunnen reageren. We weten allang dat ons lichaam is uitgerust met speciale immunologische organen en speciale afweercellen in het bloed, om ons te beschermen tegen ziekteverwekkers en andere lichaamsvreemde indringers. Geheel nieuw is echter de bevinding dat allerlei kleine organen een voorhoederol spelen in onze afweer, juist op die plekken waar de indringers binnenkomen en we ze dus het hardst nodig hebben.

Een B-cel, bedekt met bacteriën. Dit soort witte bloedcellen produceert de antilichamen die micro-organismen herkennen aan molekülen op hun oppervlak en daaraan binden, wat uiteindelijk leidt tot de vernietiging van de indringers.
(Foto Lennart Nilsson/© Boehringer Ingelheim, Alkmaar)

Ons lichaam wordt onophoudelijk belaagd door een enorm aantal infectieuze micro-organismen, zoals virussen, bacteriën, schimmels en dierlijke parasieten. Elk van deze kan ons lichaam grote schade berokkenen en kan bij ongebredelde vermenigvuldiging tenslotte tot de dood leiden. Gelukkig duurt een infectieziekte meestal slechts kort en laat die vrijwel nooit permanente schade na. Dit komt omdat wij zijn uitgerust met een immuunsysteem, dat met binnendringers korte metten maakt.

Ons afweerapparaat bestaat uit een aspecifiek en een specifiek systeem. Het aspecifieke immuunsysteem omvat in de eerste plaats de buitenkant van ons lichaam (huid, slijmvliesen enz., zie afb. 1), die een haast onneembare barrière vormt. Daarnaast is ons lichaam uitgerust met speciale witte bloedcellen, de zogenaamde *fagocyten*, die onze feitelijke afweer vormen tegen de organismen die uiteindelijk toch binnendringen.

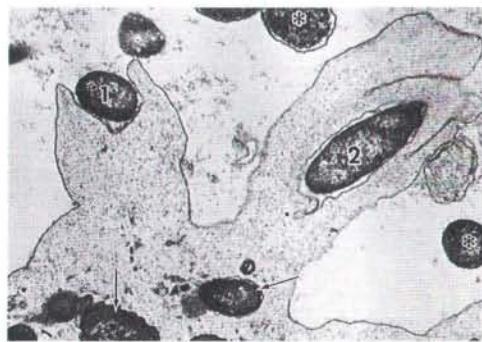
Er bestaan twee soorten fagocyten – ze worden zo genoemd omdat ze inandrivers fagocyteren, dat wil zeggen insluiten en verteren – de *neutrofiele granulocyten* en de *monocyten*. Neutrofiele granulocyten zijn kortlevende cellen die zich actief door de bloedvatwand naar de ontstekingsplaats bewegen en daar eventuele inandrivers opnemen om ze met hun granula (korrels met verteringsenzymen, vandaar de naam granulocyt) af te breken (zie afbeelding 3). Pus uit een zweer is niets anders dan een



1

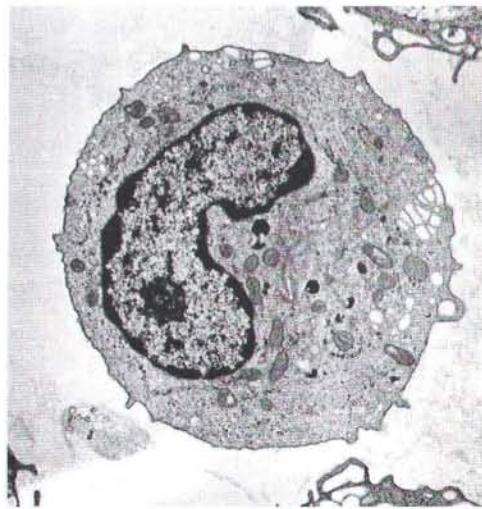
waar slagveld van dode granulocyten, die zich hebben verweerd tegen binnengedrongen bacteriën.

De monocyten in het bloed zijn de cellen waaruit in het weefsel *macrofagen* ontstaan. Die komen overal in ons lichaam voor en het zijn de cellen die uiteindelijk alle rommel opruimen (*macrofaag* is letterlijk veelvraat). De macrofagen zijn niet alleen de vuilnismannen van ons lichaam, ze kunnen ook reageren op in-



3

3. Een neutrofiele granulocyt neemt bacteriën op door ze met celuitstulpingen te omsluiten. De verteringsenzymen in de granulocyt breken daarna de bacterie af.



4

4. Monocyten uit het bloed, die hun oorsprong in het beenmerg hebben, zijn de voorlopercellen van de macrofagen, vreetcellen die in allerlei weefsels en organen voorkomen.



2

1. De meeste infectieverzakers kunnen helemaal niet binnendringen in ons lichaam. Ze worden effectief tegengehouden door biochemische en fysische barrières. Pas als die het al laten weten komt de immunologische afweer in het geweer.

2. De Engelse plattelandsarts Jenner benutte het geheugen dat ons lichaam ontwikkelt tegen indringers. Hij entte mensen in tegen pokken met etter uit koepokken. Dat veroorzaakte een lichte infectie en zorgt voor het ontstaan van geheugencellen. Die herkennen bij een volgende infectie het pokkenvirus onmiddellijk en zorgen ervoor dat er grote hoeveelheden antistoffen tegen worden aangemaakt.

dringers die zij eerder ontmoetten, dankzij herkenningsmolekulen op hun celoppervlak. Met die moleculen kunnen macrofagen communiceren met andere cellen, wat aanleiding geeft tot een specifieke immuunreactie. Macrfagen maken aldus niet alleen deel uit van het aspecifieke, maar ook van het specifieke immuunsysteem. We vinden ze dan ook in alle immunologische ofwel lymfoïde organen, de thuishavens van de specifieke afweer.

Het specifieke immuunsysteem

De Oude Grieken wisten al dat mensen die de pest hadden overleefd, niet meer bevattelijk waren voor infectie bij een nieuwe pestepidemie. Deze 'actief' verkregen immuniteit viel ook in de Middeleeuwen op tijdens de rampzalige pokkenepidemieën die Europa toen teisterden. De Engelse arts Jenner benutte dit fenomeen enkele eeuwen later als eerste, door mensen tegen pokken te vaccineren met etter uit koepokken. Uiteindelijk was het Louis Pasteur die in 1879 het principe van de immuniteit ontdekte. Hij toonde aan dat ons lichaam na een infectie een specifiek geheugen ontwikkelt, waardoor een virus of bacterie geen kans meer krijgt om nog eens toe te slaan.

Inmiddels weten we dat een derde groep witte bloedcellen in dit geheugen een essentiële rol speelt: de *lymfocyten*. Die worden onderver-

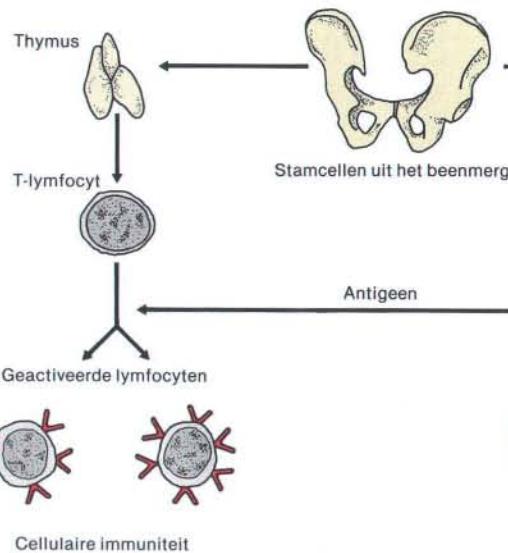
deeld in de zogenaamde B-lymfocyten en T-lymfocyten. B-lymfocyten produceren antistoffen, eiwitmoleculen die zich kunnen binden aan de, vreemde, moleculen van de indringer, die we antigenen noemen. Het uiteindelijke gevolg van die antistof-antigeenbinding is dat de indringer wordt opgeruimd. De antistoffen uit de B-lymfocyten komen vrij voor in de lichaamsvochtigheid, de humor. Daarom spreken we van *humorale immuniteit*. T-lymfocyten bezitten antistoffen op hun oppervlak. Daarmee kunnen ze antigenen binden. Bij deze *cellulaire immuniteit* is dus sprake van cel-antigeen-interacties.

Lymfocyten beginnen hun bestaan in het beenmerg (afb. 5). De B-lymfocyten komen van daaruit in de lymfoïde organen (onder andere milt en lymfeknopen) terecht, terwijl een deel voortdurend circuleert in het bloed. Zodra er een infectie plaatsvindt ontwikkelen zich in de lymfoïde organen B-geheugencellen. Bij hernieuwd contact met het antigeen herkennen enkele B-cellen dat onmiddellijk en treedt de zogenaamde plasmacellulaire reactie op, waarbij die B-cellen zich vermenigvuldigen en uitgroei tot plasmacellen, die heel veel van een bepaalde antistof produceren.

De voorlopercellen van T-lymfocyten komen vanuit het beenmerg eerst in de thymus ofwel zwezerik terecht en leren daar lichaams-eigen stoffen te herkennen, zodat ze lichaams-

vreemde stoffen daarvan kunnen onderscheiden en erop kunnen reageren. Zodra ze de thymus hebben verlaten, gaan de T-cellen deel uit maken van de lymfocytenpopulatie in het bloed. Een deel ervan begeeft zich naar de lymfoïde organen, in afwachting van een eventueel beroep op hun immunologisch vermogen.

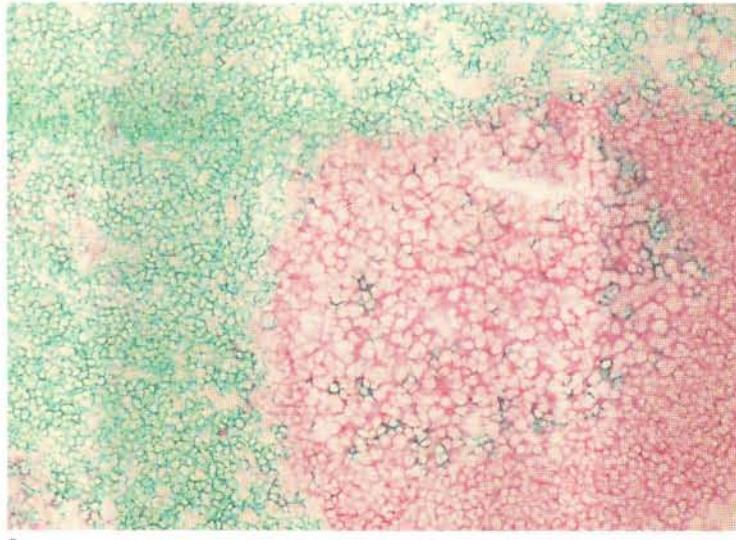
De essentie van 'geheugen' en vaccinatie is het fenomeen dat de lymfocyten bij hernieuwd contact met het antigeen onmiddellijk kunnen reageren. Deze zogenaamde *immuunrespons* verspreidt zich vanuit de lymfoïde organen over de rest van het lichaam. De respons wordt in gang gezet door macrofagen, door antigenpresenterende cellen (macrofaagachtige cellen die het antigeen herkennen, binden en aan de lymfocyten 'aanbieden') en, uiteraard, door de T- en B-lymfocyten. Deze cellen komen in alle lymfoïde organen voor.



5

6. In deze dubbelkleuring van een stukje lymfeknooppak zijn T- en B-cellen afzonderlijk gekleurd met behulp van antistoffen die een van beide celtypen als antigen herkennen. De T-cellen zijn groen en de B-cellen zijn roze gekleurd. Duidelijk is te zien dat de ronde, roze follikels hoofdzakelijk uit B-lymfocyten bestaan en de paracortex vooral T-cellen bevat.

7. Schema van de bouw van een lymfeknooppak met de belangrijkste structuren.

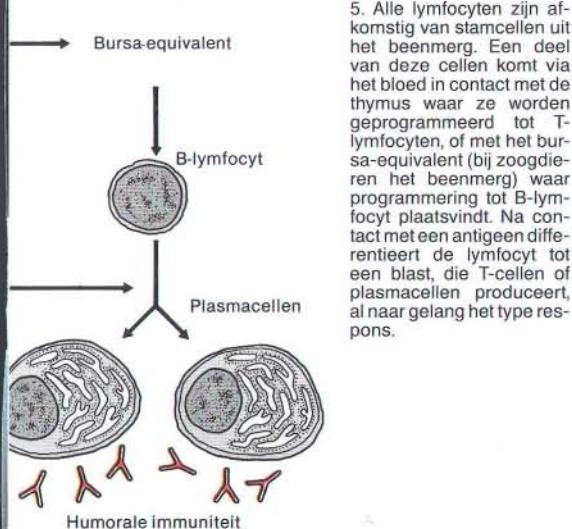


6

Lymfoïde organen

Tot de lymfoïde organen behoren de thymus, de milt, de lymfeknopen, de tonsillen (amandelen) en het lymfatisch weefsel van luchtwegen en darmen (zie afb. 12). De thymus en het beenmerg zijn de primaire of *centrale* lymfoïde organen, terwijl de overige tot de secundaire of *perifere* lymfoïde organen worden gerekend.

Een ruimtelijk netwerk van steun- of reticulumcellen vormt de grondstructuur van de perifere lymfoïde organen. In dit netwerk bevindt zich traag stromende lymfe of bloed, waarin vrije cellen voorkomen. Om een beter begrip te krijgen van de algemene kenmerken van deze groep organen, nemen we de lymfeknopen onder de loep. Die kunnen model staan voor alle perifere immunologische organen.



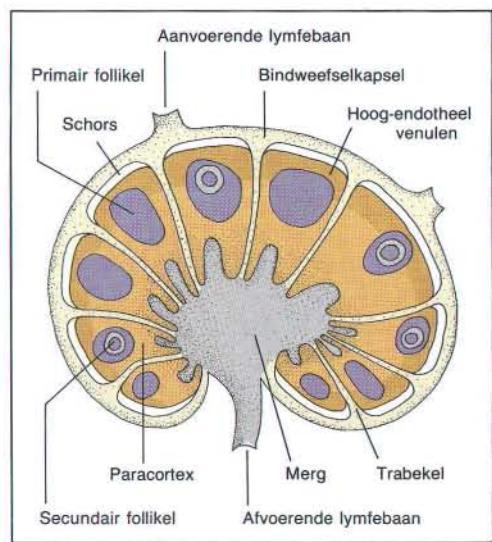
zelf bestaat uit een merg- en een schorsgebied (zie afb. 6 en 7). De schors wordt weer onderverdeeld in een buiten- en binnenschors. In de knoop bevinden zich op vaste plaatsen groepen B- en T-lymfocyten en gespecialiseerde macrofaagachtige cellen, die van daaruit de immuunrespons verzorgen.

In de buitenschors zijn de zogenaamde follikels aanwezig: min of meer bolvormige structuren, die voornamelijk bestaan uit B-lymfocyten. In elk follikel bevindt zich een folliculaire dendritische cel. Dit is een gespecialiseerde macrofaag die een grote rol speelt bij het ontstaan van het B-celgeheugen. In de buitenschors worden de lymfocytengebieden vrijwel uitsluitend bezet door T-lymfocyten. Hierbinnen bevindt zich als gespecialiseerde macrofaag de zogenaamde interdigitierende cel, die een belangrijke rol speelt bij het presenteren van antigeen aan de T-lymfocyten en dus het aanzetten van de cellulaire immuunrespons. Zodra er via de lymfebaan een antigeen binnenkomt, treedt in de lymfeknoop een plasmacellulaire reactie (plasmacellen maken daarbij snel grote hoeveelheden antistoffen tegen het antigeen) en een follikelcentrumreactie op (enkele B-lymfocyten ontwikkelen een geheugen voor dat ene antigeen). Via speciale bloedvaatjes in de klier komen B- en T-geheugelymfocyten in de bloedsomloop terecht, van waaruit ze bij een volgend contact het antigeen heel snel herkennen.

De milt, bij de mens het grootste lymfoïde orgaan, is het immunologische filter van de bloedbaan. Het orgaan heeft twee hoofdtaken. In het rode deel van de milt verwijderen macrofagen oude rode bloedcellen uit het lichaam. In het witte, lymfoïde deel van het orgaan vermengvuldigen en differentiëren B- en T-lymfocyten zich bij contact met een antigeen, zoals dat ook in de lymfeknoopen gebeurt.

Immunologische orgaantjes

Behalve in de lymfeknoopen en in de milt is er ook nog lymfatisch weefsel aanwezig in de keel en in de slijmvlies van de darmen, de luchtwegen en de urinewegen. Dit weefsel heeft een belangrijke taak op plaatsen waar veel contact met antigenen uit de buitenwereld plaatsvindt. In deze lymfoïde weefsels vindt een lokale immuunreactie plaats. Het antigeen moet hier voor echter eerst via de 'klassieke' lymfoïde or-



7

Het vocht dat onze weefsels en organen uit het bloed opnemen, geven ze als lymfe weer af. Een stelsel van fijne buizen, de lymfebanen, voert het vocht af naar de lymfeknoopen, die overal in ons lichaam aanwezig zijn. Het zijn in feite filters die de lymfe ontdoen van lichaamsvreemde stoffen en weer in de bloedbaan brengen. Lymfeknoopen zijn kleine, boonvormige organen, omgeven door een kapsel. De knoop

ganen zijn herkend, waarna geheugencellen verhuizen naar de lokale weefsels.

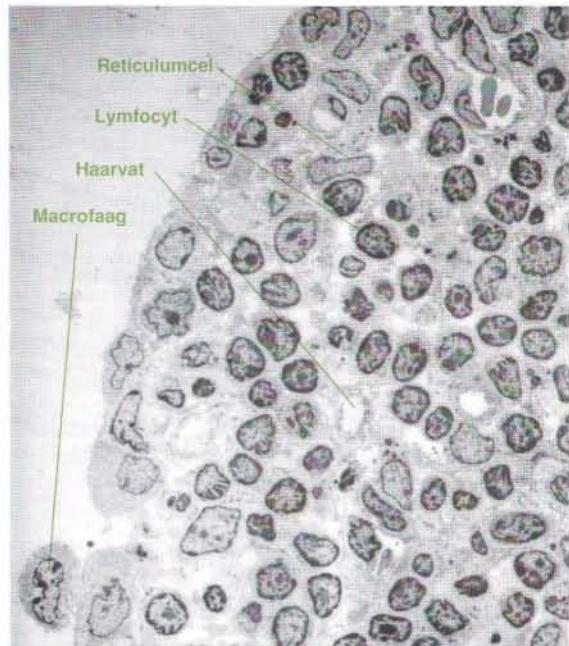
Vanwege hun plaats in het lichaam en de betekenis van deze weefsels in de immunologische afweer, worden ze aangeduid met de naam GALT (gut associated lymphoid tissue) voor de darm, BALT (bronchus associated lymphoid tissue) voor de long en MALT (mucosa associated lymphoid tissue) voor de slijmvliezen. Een klassiek voorbeeld zijn de platen van Peyer in de darm (eigenlijk dus GALT). Binnen deze structuren zijn, evenals in de lymfeknopen, B- en T-gebieden te onderscheiden, waarin ook de eerdergenoemde folliculaire dendritische cel en de interdigiterende cel worden aangetroffen.

Zeer recent is ontdekt, dat er in ons lichaam nog meer weefsel aanwezig is, dat enerzijds alle karakteristieken vertoont van de secundaire lymfoïde organen en anderzijds sterk reageert op een lokaal contact met antigenen. De orgaanjes nemen daarbij in aantal toe. Juist deze hyperreactiviteit onderscheidt ze van alle eerdere genoemde lymfoïde organen en weefsels, en verraadt dat zij in beginsel onafhankelijk van de immuunrespons van de grote lymfoïde structuren reageren. Het zijn *immunologische orgaanjes*.

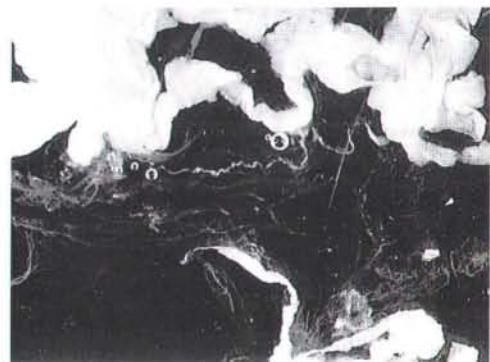
Milky spots

In de buikholte bevindt zich een dun vlees, dat om de maag hangt en de darmen bedekt (afb. 14). Dit transparante *omentum* heeft een goede doorbloeding. Bijzonder intrigerend is de toepassing die het vlees in de heelkunde heeft gevonden. Chirurgen kunnen het omentum onderhuids naar de meest akelige wonden leiden en die ermee bedekken. De wonden genezen als gevolg van die ingreep spectaculair snel en mooi. Ongetwijfeld speelt de goede doorbloeding van het vlees daarbij een belangrijke rol, maar er is meer. Het feit dat na de chirurgische ingreep grote, open wonden, bijvoorbeeld brandwonden, helen zonder ernstige ontstekingen, doet vermoeden dat het omentum een soort 'immuunfabriek' is.

In het omentum komen klompjes cellen voor, die in het transparante vlees opvallen als witte vlekjes; de zogenaamde *milky spots*. In proefdieren die in de buikholte een mengsel van verschillende antigenen kregen toegevoerd, bleken de milky spots in grootte en in aantal enorm toe te nemen (afb. 11). Dit wijst



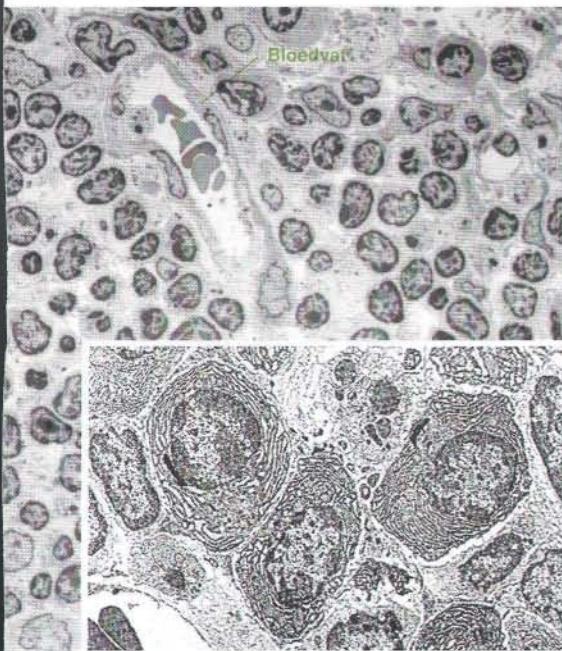
8



10

erop dat de witte celklompjes bij een immuunreactie zijn betrokken; misschien is het ontstekingsweefsel waarin granulocyten en macrofagen hun aspecifieke afweer uitvoeren.

Maar er lijkt meer aan de hand. De milky spots bestaan, overeenkomstig de eerdergenoemde lymfoïde organen, uit een netwerk van reticulumcellen, met daarin macrofagen en lymfocyten. Bovendien blijken er altijd bloedvaatjes in aanwezig te zijn (afb. 8). Vaak vertonen milky spots een plasmacellulaire reactie, waarbij plasmacellen ontstaan, die in antwoord



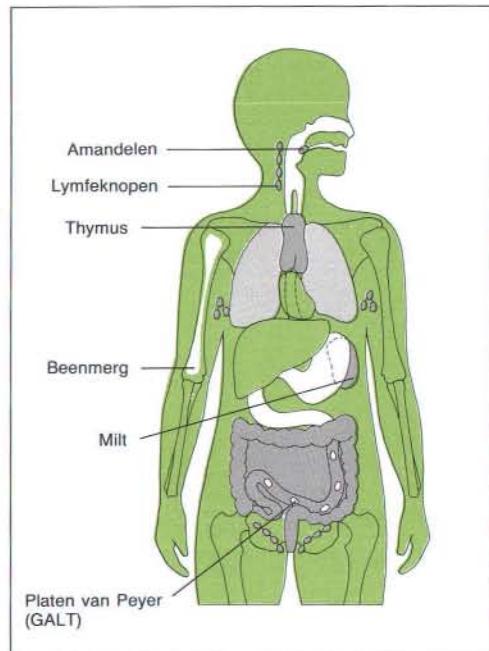
9



11

op lokale antigenen specifieke antistoffen vormen (afb. 9).

In een specifieke kleurreactie op B- en T-lymfocyten blijkt verrassenderwijs dat er aparte B- en T-celgebieden in milky spots voorkomen. Er is een follikelachtig B-gebied (afb. 13) met de bijbehorende gespecialiseerde macrofagen en in de T-celgebieden zijn onder andere interdigiterende cellen aanwezig. Al deze cellen komen steeds voor in de 'echte' lymfoïde organen. Het feit dat in milky spots een B-gebied, een T-gebied en gespecialiseerde macro-



12

8 en 9. EM-opname van ongeveer een halve milky spot (8) uit het omentum van een muis, waarin een ruimtelijk netwerk van reticulumcellen is te zien met daarin lymfocyten en macrofagen. In milky spots zijn zichtbaar bloedvaatjes en haartjes aanwezig. Na herhaalde stimulatie met een antigen komen in milky spots groepjes plasmacellen (9) voor. Die cellen bevatten veel ruw endoplasmatisch reticulum, wat wijst op een hoge productie van eiwitken: antistoffen tegen het antigen.

10 en 11. In het omentum van een ongestimuleerde rat komen slechts enkele milky spots voor. Na stimulatie met lichaamsvreemde stoffen treedt een ontstekingsreactie op, waarbij de milky spots sterk toenemen in aantal en in grootte.

12. De lymfoïde organen en weefsels. De thymus maakt T-lymfocyten en het beenmerg B-lymfocyten. Daarna komen die cellen in de secundaire lymfoïde organen terecht, waar ze klaarstaan om indringers op te ruimen.

fagen voorkomen, en het feit dat ze ook worden aangetroffen in proefdieren die geen antigenen in de buikholte kregen ingespoten, ondersteunt de gedachte dat ze niet alleen actief ontstekingsweefsel vertegenwoordigen (hun aantal neemt immers sterk toe na stimulatie met een antigen), maar dat ze wellicht als echte immunologische orgaanjes kunnen worden beschouwd. Daarbij is uiteraard van grote betekenis dat juist het aantal van deze orgaanjes kan toenemen, waardoor zij in de buikholte als 'politieagent' kunnen optreden.

13. De gekleurde cellen in deze milky spot zijn B-lym-focyten. Ze liggen duidelijk in groepjes bij elkaar, zoals dat ook in lymfeknopen het

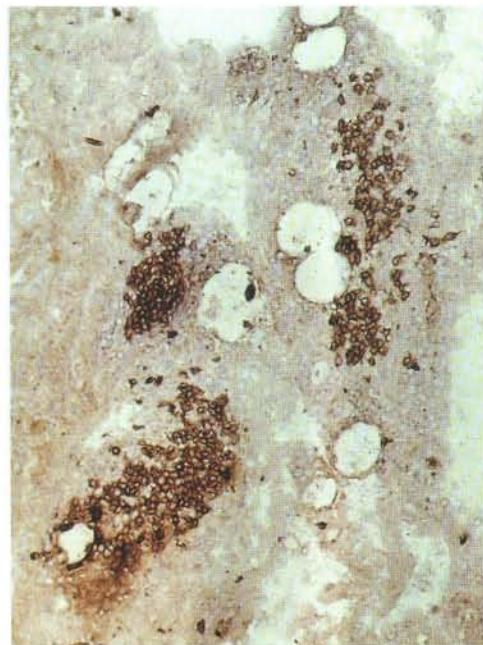
14. Het omentum in zijn na-tuurlijke positie bij de mens, weergegeven met behulp van een wasmodel. Het omentum is een plooï van het buikvlies die vanaf de

15 en 16. Aankleuring van anti-TNP-vormende plas-macellen, na herhaalde sti-mulatie in de buikholte, in een lymfeknoop (15) en in een milky spot (16). De

geval is. Kleuring op T-lym-focyten levert een ver-ge-lijkaar beeld op, met uiter-aard andere groepjes ge-kleurde cellen.

lever als ophangbord voor de maag fungeert, de maag geheel omsluit en onder de maag als een 'schort' voor de darmen hangt.

reactie in de milky spot op de plaatselijke toediening van het antigeen is veel sterker dan die in de lym-feknoop.



13

Anti-TNP-producerende cellen na stimulatie			
TNP-Ficoll-toediening	Lymfe-knoop	Milt	Milky spots
Eerste keer toedienen	—	+	±
Herhaling na een maand	±	+	+++



14

Als milky spots echte immunologische orgaanjes zijn, zullen ze onafhankelijk van de grote lymfoïde organen een immunologisch ge-heugen vormen. Ze zullen dan ook specifiek reageren op een herhaalde blootstelling aan een antigeen. Om te zien of dat zo is, kreeg een muis de stof TNP-Ficoll toegediend in de buikholte. De TNP-groep (trinitrofenol) van dit mo-lekuul doet dienst als antigeen. Na een maand kreeg de muis opnieuw een injectie met het anti-geen. Zes dagen daarna werden er inderdaad B-lymfocyten gevonden die als plasmacel spe-

cifieke anti-TNP-antistoffen vormden. Nog verbluffender was het feit dat de immunologi-sche reactie in de milky spots veel groter was dan die in de milt en de lymfeknopen (zie afb. 15 en 16 en tabel), wat de betekenis van het omentum in de lokale afweer onderstreept. Het lijkt erop dat ook de milky spots thuisoren in de reeks orgaanjes die een belangrijke rol spelen als lokale immuunfabriek. Naar de eer-dergenoemde structuren (GALT, BALT en MALT) bestempelen we milky spots als OALT: omentum associated lymphoid tissue.



15



16

Immuunsurveillance

In de buikholte is de aanwezigheid van een lokaal immuunsysteem natuurlijk van groot belang. Door de darmen heen lekken immers steeds allerlei indringers, met name bacteriën, de holte in. Bij vrouwen komt hier nog bij dat er in principe, via eileiders en baarmoeder, een open verbinding is tussen de buikholte en de buitenwereld. Het omentum speelt niet alleen een rol bij de produktie en absorptie van vocht in onze buikholte, maar ook bij de immuunsur-

veillance van dit hele gebied. In de borstholté komen vergelijkbare orgaanjes voor.

Voorlopig blijft de (interessante) vraag waarom de milky spots naast immunologisch weefsel ook zulk reactief ontstekingsweefsel kunnen zijn. Het antwoord lijkt: om de lokale immuunrespons volledig te kunnen verzorgen. Het is daarbij een groot voordeel om snel in aantal toe te kunnen nemen zodra dat nodig is. De lokale immuunreactie verloopt onafhankelijk van de mogelijke reactie van de grote lymphatische organen en speelt waarschijnlijk een onmisbare rol in de 'huis-tuin-en-keukenreactie' op indringers. Uiteraard is de verdere immunologische karakterisering van deze kleine immunologische orgaanjes verder in studie, alsmede de vraag of zij in eerste instantie alleén verantwoordelijk zijn voor de lokale afweer.

Inmiddels zijn in het omentum van de mens ook milky spots gevonden. We moeten ons daarom bijvoorbeeld terdege afvragen of het wel zo verstandig is om bij gynaecologische tumoren het omentum geheel te verwijderen. Momenteel gebeurt dat routinematig in verband met de kleine kans op uitzettingen. In de lichaamseigen 'kankerbestrijding' speelt ons afweerapparaat, dat juist ook in het omentum aanwezig is, een belangrijke rol. Tenslotte is met de vondst van milky spots bij mensen, de fantastische toepassing van het omentum in de wondchirurgie ook immunologisch grotendeels verklaard.

Literatuur

- Twel JG vd. Immunologie - Het menselijk afweersysteem. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, Natuur & Techniek, 1988.
- Billiau A. Ontsteking - Interleukine als januskop. Natuur & Techniek 1989; 5: 4, 266-277
- Liebermann-Meffert D, White H. The greater omentum. Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag, 1984.
- Roitt IM, Brostoff J, Male DK. Immunology. London-New York: Churchill Livingstone. 1989, 2e druk.

Bronvermelding illustraties

- Lennart Nilsson/© Boehringer Ingelheim, Alkmaar: pag. 472-473
- Wellcome Institute, London: 4 (By courtesy of the Wellcome Trustees)
- CM van der Loos, AMC, Amsterdam: 6
- D Liebermann-Meffert, Universitätsklinik, Basel, Ch: 14
De oorange afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur, met dank aan zijn naaste medewerkers.

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

PETER DE JAEGER

500 kilo stikstof per hectare

Professor Rudy Rabbinge over de overbemesting in Nederland en de onderbemesting in de Derde Wereld

Duurzame landbouw is een slecht gedefinieerd modewoord en betekent net zoveel als: 'ik ben voor het goede leven'. Het geeft hooguit een richting aan en zegt niets over hoe en in welke mate. Maar dat neemt niet weg dat er op dit moment veel wordt verspild door een overinzet aan mest en bestrijdingsmiddelen. We moeten proberen dat te minimaliseren. Duurzame landbouw is voor mij vooral het streven naar een meer gesloten kringloop van grondstoffen." Aldus prof dr Rudy Rabbinge, hoogleraar theoretische produktie-ecologie aan de Landbouwuniversiteit in Wageningen en lid van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR), Nederlands nationale denktank. Het valt niet mee om Rabbinge een waardeoordeel te ontlokken over de toekomst van de landbouw. Zorgvuldig als een wachelaar kiest hij zijn woorden en schetst mogelijke ontwikkelingen. Zijn uiteenzetting gaat gepaard met vele 'mitsen en tenzij's'.

Dat streven naar een kringloop geldt volgens Rabbinge op elk niveau. Op mondial niveau betekent het dat wat je aan mineralen en bodemvruchtbaarheid importeert uit andere delen van de wereld, je dat ook weer terug



brengt, bijvoorbeeld als kunstmest. Momenteel vindt er een netto-overdracht plaats van voedingsstoffen vanuit de Derde Wereld en de Verenigde Staten naar Nederland, via de Rotterdamse haven. Binnen Europa is *recycling* een eenvoudiger te realiseren. Nog eenvoudiger is een gesloten produktiesysteem binnen een land of regio en zelfs op bedrijfsniveau. "Hoe kleiner de schaal hoe groter de mogelijkheid voor de ontwikkeling van meer gesloten produktiesystemen", aldus Rabbinge.

Toch is ook op mondiale schaal een en ander te bereiken. Maar vooraf wil Rabbinge de vaak gehekelde negatieve afhankelijkheid van het zuiden en het noorden nuanceren. "Er is niet een rechtstreekse samenhang tussen de wijze waarop we hier landbouw bedrijven en de ontwikkeling zoals die zich voordoet in de Derde Wereld. Dat zou al te simpel zijn", zegt hij. "Nederlanders hebben al snel de neiging normatief de zaken te bekritiseren. Maar voorzover er koppelingen zijn be-

treffen die vooral de intensive veehouderij. Op de 80 000 hectare Nederlandse grond met kippen en varkens is veevoer nodig afkomstig van vijf miljoen hectare elders ter wereld. Dat voedsel, zoals soja en tapioca, wordt grotendeels ontrokken aan Derde-Wereldlanden. Maar de belangrijkste bron van inkomsten zou wegvalen voor menig Derde-Wereldland als het geen veevoer meer exporteert.

Via de Rotterdamse haven importeert Europa enorme hoeveelheden voedingsstoffen, veel meer dan het werelddeel uitvoert
(foto: Graan Elevator Maatschappij, Europoort)



teert. Dat wordt te vaak over het hoofd gezien."

Het gaat Rabbinge boven dien te ver om te beweren dat veevoerproductie concurreert met de lokale voedsellandbouw. "Er is nog genoeg land over in ontwikkelingslanden om hun eigen voedsel te verbouwen. Alleen moet er meer structurele hulp worden geboden om de bodemvruchtbaarheid te verhogen, bijvoorbeeld door kunstmest. Daarmee wordt het uitboeren van gronden voorkomen. Dit vergt wel veel inzicht en om-

schakeling van de huidige systemen."

"Theoretisch is zelfvoorziening voor veevoer in Europa overigens gemakkelijk te realiseren. Alleen al de produktiviteitsstijging van drie jaar is voldoende om dat voor in Europa zelf te produceren. Maar er moet ernstig rekening worden gehouden met de sociaal-economische gevolgen van zelfvoorziening", zegt Rabbinge, die ook actief is in het internationaal landbouwkundig onderzoek.

Gat van Rotterdam

In de Derde Wereld ontbreken vaak de financiële middelen om meststoffen aan te kopen. Daardoor vindt op grote schaal uitputting van de grond plaats. In Afrika is de grond soms zo arm dat ze alleen maar dient om de plantewortel vast te houden. Een mogelijke oplossing is subsidiering van meststoffen om te voorkomen dat er op den duur helemaal geen productie meer mogelijk is. Nederland loopt wat dat betreft voorop. De afgelopen tien jaar heeft ons land drie miljard gulden uitgetrokken voor kunstmestaankopen voor de Derde Wereld. Kunstmesthulp is al jaren met zeven procent de grootste post op de balans van Ontwikkelingssamenwerking. Volgens een schatting van de *Food and Agriculture Organisation* (FAO) heeft kunstmest de laatste vijftien jaar voor de helft bijgedragen aan de verhoging van de voedselproductie in de arme landen.

Niet alleen in de tropen maar ook in sommige delen van Europa is er een onderinzet van meststoffen, zoals in de landen langs de Middellandse Zee. Nederland is uniek met zijn extreme overinzet van goedkope meststoffen die via het 'Gat van Rotterdam' bin-

nenkommen. Ter illustratie: in Nederland wordt jaarlijks tussen de 250 en 500 kilo stikstof per hectare toegediend via dierlijke mest en kunstmest, in Afrika is dat nog geen twee kilo per hectare.

Die overinzet bij ons leidt tot enorme verkwisting. Volgens het rapport van de Stikstofcommissie, waar Rabbinge lid van was, verbruikt de Nederlandse landbouw jaarlijks 1120 miljoen kilo stikstof. Daarvan wordt 265 miljoen kilo omgezet in plantaardige en dierlijke produkten. De rest, 855 miljoen kilo, komt in het milieu terecht en vervult de lucht met ammoniak en het water met nitraat.

De optimale mestgift per plant is toch nog niet bekend. Waarom dan zulke overvloedige giften toedienen?

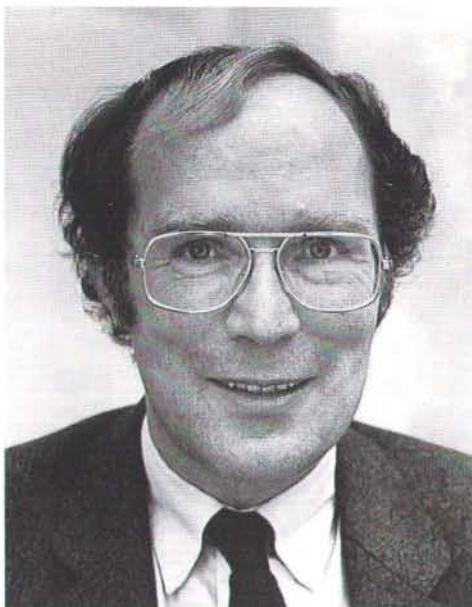
Rabbinge: "Er is niet één optimum, maar er zijn er meerderen. De optimale gift varieert bij verschillende produktiesituaties die je grotendeels niet in de hand hebt, zoals de waterbeschikbaarheid. Pas achteraf blijkt meestal of je van iets te veel of te weinig hebt gegeven. Het streven van de boer blijft een zo hoog mogelijke productie. Dit is niet altijd in overeenstemming met een inzet van meststoffen die leidt tot een zo hoog mogelijke *recovery*, dus dat zoveel mogelijk van de inzet wordt benut door het gewas en zo weinig mogelijk in de lucht verdwijnt via vervluchting of in de grond via percolatie. Bij de zeer lage prijzen voor (kunst)mest is die overinzet uit economisch oogpunt ook een begrijpelijke strategie. Zelfs wanneer alles zou worden gezet op een zo hoog mogelijke *recovery* dan is verlies onvermijdelijk. Bij de best geïrrigeerde gronden die tevens goed ontwaterd zijn, is een maximum recoverypercentage

ge van zeventig haalbaar. Bij een gebrek aan regenval en slechte drainage wordt vaak niet meer dan twintig of dertig procent van de *input* benut. In de tropen wordt dat beetje kunstmest dat wordt gebruikt dus nog minder benut dan bij ons. De produktiviteit is daar door extra moeilijk op te krikken."

In sommige delen van Afrika loopt de jaarlijkse produktie groei (één procent) dan ook sterk achter bij de bevolkingsgroei (drie procent). Dat veroorzaakt structurele voedseltekorten. In Nederland en Europa daarentegen stijgt de produktiviteit nog steeds met jaarlijks twee procent, door betere rassen, efficiëntere oogsttechnieken en dergelijke. Die verdere produktiviteitsstijging is wenselijk volgens Rabbinge. "Dat is vaak in strijd met wat doorgaans wordt gedacht. Men denkt dat bij een hogere produktiesituatie minder efficiënt met de produktiemiddelen wordt omgesprongen. Maar er zit wel degelijk een bonus op meer productie per eenheid van oppervlak."

Scenario

Bij een gelijkblijvend oppervlak en een toenemende produktiviteit zal de productie toenemen. De Europese vraag naar landbouwprodukten stagneert echter. Om de balans weer recht te trekken zal er dus grond uit de productie moeten worden genomen. Er zijn al verschillende werkgroepen, zowel nationaal als Europees, die zich daarover hebben gebogen. Meest recent binnen Nederland is het adviesplan van een groep Wageningse hoogleraren aan minister Bukman. Daarin wordt geopperd om een groot deel van het Nederlands akkerbouwareaal te bestemmen



Prof dr Rudy
Rabbinge
(foto: WRR
Den Haag)

In veel administratieve regio's van de EG is een groot deel van het land ongeschikt voor graanverbouw (uit: Jaarverslag 1989, DLO-Staring Centrum, Wageningen)

Driekwart van de EG is ongeschikt voor gemechaniseerde landbouw

voor de productie van krachtvoer. Van de 780 000 hectare akkerbouwareaal in Nederland volstaat de helft om traditionele gewassen te verbouwen. Circa 200 000 hectare kan worden ontrokken en een natuurbestemming krijgen, terwijl op de resterende 180 000 hectare eiwitrijke produkten als luzerne of veevoerbieten kunnen worden verbouwd. Hiermee wordt de import van veevoergrondstoffen overbodig, aldus de wetenschappers. Een ander voorstel is afkomstig van de werkgroep De Zeeuw/Albrecht. Deze stelde een strikte scheiding voor tussen landbouw en natuur. Door de Nederlandse boer op de helft van het huidig akkerbouwareaal, circa 400 000 hectare, geen strobreed in de weg te leggen is een grootschalige, efficiënte productie mogelijk. De

Zeeuw/Albrecht zien de boer niet als landschapsbeheerder maar louter als ondernemer. Het overige deel van de grond moet veranderen in bos- en natuurgebieden.

Rabbinge: "Als je alleen al uitgaat van de huidige produktiviteitsstijging van twee procent per jaar, kun je uitreken dat over een periode van twintig jaar zo'n twintig tot dertig miljoen hectare grond in Europa een andere bestemming zou moeten krijgen. Zoals bos- of natuurgebied of het verder tot ontwikkeling brengen van de ecologische hoofdstructuur. Als echter de commerciële landbouw beperkt gaat worden tot de meest produktieve gebieden, dan zal voor een aanzienlijk groter deel van de landbouwgrond een andere bestemming gevonden moeten worden." Er zijn tal van varianten te be-

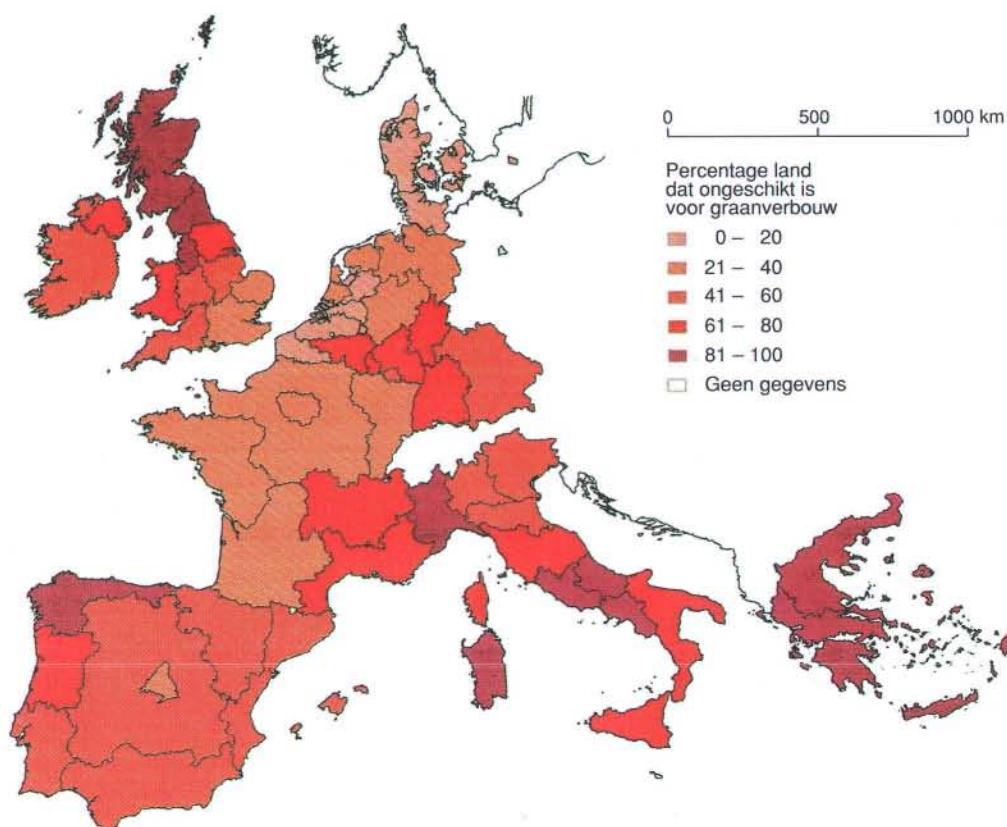
denken voor de invulling, afhankelijk van de uitgangspunten. In opdracht van de WRR is door het Staring Centrum in Wageningen een landevaluatie voor de lidstaten van de Europese Gemeenschap (EG) gemaakt. In deze studie wordt duidelijk waar de produktieplafonds liggen voor de verschillende landbouwgebieden binnen de EG. De WRR gebruikt deze informatie om ontwikkelingsmogelijkheden te schetsen in de vorm van een aantal scenario's. Rabbinge: "In dit project worden de gevolgen van de verschillende kwalitatieve opties kwantitatief inzichtelijk gemaakt. De gevolgen van diverse mogelijkheden worden aangegeven. Het is aan de politiek om hieruit een keuze te maken."

Hak

Het gaat er volgens Rabbinge om een evenwicht te vinden tussen sociaal-economische, ruimtelijke, milieu- en landbouwkundige doelstellingen. "De landbouw staat nu voor een trendbreuk. De primaire productie bepaalt niet langer het beeld van de inrichting van het platteland. Een heleboel andere doelstellingen tellen nu ook mee. Doelstellingen die tot op zekere hoogte conflicteren met elkaar. Ze monden namelijk elk afzonderlijk uit in een ander landgebruik, een andere verdeling daarvan en een andere wijze waarop de landbouw plaatsvindt. Al naargelang het politieke gewicht van de doelstellingen verschillen de uitkomsten."

Zo wegen bij geïntegreerde landbouw de milieukundige doelstellingen mee. Bij een marktgerichte variant zijn vooral landbouwkundige doelen zoals grondproductiviteit en minimalisatie van kosten per produkt doorslaggevend. Naarmate de leefbaarheid van het platteland meer voorop staat tellen de sociaal-economische doelstellingen zwaarder mee. Alle mogelijke opties zijn gerelateerd aan een Europese ecologische hoofdstructuur, die speciaal voor dit project door de WRR is ontwikkeld. Samen resulteert dat in eindbeelden van hoe Europa er over twintig jaar kan uitzien.

Ook worden de gevolgen zichtbaar van het nastreven van slechts één doelstelling.





Veevoeroverslag
(foto: Piet den
Blanken/
Hollandsche Hoogte,
Amsterdam)

Neem nu grondproductiviteit. De potenties zijn in kaart gebracht door fysisch-geografische gegevens te koppelen aan die van het klimaat. Zes verschillende gewassen, die representatief zijn voor produktgroepen, zijn op die manier onderworpen aan een kwantitatieve analyse. Hieruit blijkt dat drie kwart van de oppervlakte van de EG ongeschikt is voor gemaaniseerde landbouw. Met name de zuidelijke lidstaten en grote delen van het noordelijk deel van het Verenigd Koninkrijk zijn niet bruikbaar.

Tevens is via een simulatiemodel gekeken naar de potentiële grondproductiviteit van geschikt land. Daaruit blijkt bijvoorbeeld dat de tarweproduktie in Spaans Baskenland en in de hak van Italië zes ton lager ligt dan wat technisch haalbaar is, in dit geval 7,5 ton per hectare. Nederland en Denemarken halen er bijna uit wat er in potentie in zit, een verschil van slechts tien procent. Maar gezien de kleine

oppervlaktes in deze landen heeft dat relatief weinig betekenis. Wanneer in Frankrijk bijvoorbeeld de productie twee procent per jaar groeit op het huidige areaal, dan is twee jaar voldoende om het hele produktievolume van Nederland te beslaan. Frankrijk kent nog forse groeimogelijkheden, van veertig tot zestig procent, zonder ingrijpende veranderingen. Het land kan liefst tachtig procent van de totale EG-tarweproduktie realiseren. Wanneer drainage- en irrigatiowerken zouden worden uitgevoerd kan op het huidige EG-landbouwareaal de produktie van akkergewassen stijgen met 65 tot 120 procent.

Rabbinge: "De grondproductiviteit in de Europese Gemeenschap is dus enorm groot. Daar moeten we op de een of andere manier een weg mee weten te vinden bij een evenwichtige afweging van belangen die spelen in de landelijke gebieden binnen de EG. Een complicerende factor

is dat het ongeschikte land slecht verdeeld is over de EG. Grote delen van Italië, Spanje en vrijwel heel Griekenland komen niet in aanmerking, terwijl juist twintig à dertig procent van de beroepsbevolking daar in de landbouw werkt. Dat is sociaal-economisch niet wenselijk dus moet je een andere bestemming zoeken voor die gebieden."

Rudy Rabbinge is na professor C.T. de Wit de tweede prominente Wagener die in de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid zit. De Raad moet voor het regeringsbeleid wetenschappelijk gefundeerde informatie verschaffen over ontwikkelingen die de samenleving op langere termijn kunnen beïnvloeden. Verder heeft de WRR tot taak een wetenschappelijk gefundeerd kader te ontwikkelen dat de regering helpt bij het stellen van prioriteiten.

Een individuele minister kan de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid niet benaderen. Een adviesaan-

vraag loopt altijd via de minister-president. Daarom is de WRR geplaatst onder het ministerie van Algemene Zaken. De Wetenschappelijke Raad telt tien leden die worden bijgestaan door een staf van circa dertig mensen. Rabbinge: "Er is geen verdeling van portefeuilles. Het is in grote mate toeval dat ik als Wagener verantwoordelijk ben voor het project Landelijke Gebieden in Europa. Ieder van de tien leden van de Raad wordt geacht zich met alle onderwerpen te bemoeien. De organisatie is projectgroepsgeïnspireerd op basis van een collegiale verantwoordelijkheid. Zo heb ik meegewerkt aan studies over de Rechtshandhaving, Allochtonenbeleid en Technologieberaad."

Plato opperde in zijn 'Wetten' al het idee om een land te laten leiden door een groep van koning-wijsgerechten die macht en wijsheid in zich verenigen. De WRR is een club die de wijsheid zeker in pacht lijkt te hebben. Maar hoever strekken de bevoegdheden van de hooggeleerde leden?

Rabbinge: "De leden hebben niets te vertellen. En dat is maar goed ook, want wij zijn niet democratisch gekozen. Op voordracht van de ministerraad worden we voor vijf jaar benoemd. In die periode is een raadslid volledig vrij in zijn doen en laten. De leden genieten wel een politieke bescherming, maar geen ambtelijke. Dat betekent dat de minister zich niet hoeft te verantwoorden over wat wij naar

buiten brengen. Terwijl dat bij ambtenaren wel zo is."

Wordt er in onze samenleving niet een al te grote waarde gehecht aan de wetenschap?

Rabbinge: "In onze democratische maatschappij wordt de wetenschap terecht een belangrijke rol toegedicht. Wetenschappers worden immers geacht feiten te analyseren, opties te schetsen en zichtbaar te maken wat de gevolgen zijn van bepaalde keuzes. De wetenschap verkent de toekomst, maar voorspelt nimmer."

SIMON ROZENDAAL

DE FUZZY LOGIC HYPE

Bestaat de volautomatische druk-op-slechts-één-knop-wasmachine?

Bij de grote Duitse wasmachine-laboratoria barsten ze in lachen uit. "De Japanse volautomatische wasmachine met *fuzzy logic*? Een machine die ruikt hoe vuil je was is, die kijkt welke kleur het is, die voelt of het wol of kunststof is en die vervolgens op vriendelijke toon tegen je zegt: 'kom over een uur maar terug, ik doe het verder wel'? Meneer, u moet niet alles geloven wat ze u vertellen!"

Toch zwellen de geruchten aan. Op basis van een nieuwe benadering in de wiskunde, de *fuzzy logic* ofwel vage logica, zou de automatisering van tal van handelingen een geheel nieuwe fase ingaan. Vooral in Japan is *fuzzy logic* nu een enorm verkoopitem voor con-

sumentenprodukten. Het neusje van de zalm zou een volautomatische wasmachine zijn van de Japanse firma Matsushita. In deze wasmachine, die in Japan *Aisaigo* schijnt te heten, zou je slechts je was hoeven te gooien en een enkele knop in te hoeven drukken. De wasmachine kiest dan zelf haar programma.

Het is een aantrekkelijk gerucht. Je zou er zo in geloven. Voor menigeen is een wasmachine nog steeds een moeilijk te bedienen apparaat. Net als bij een videorecorder valt het reuze mee als je het eenmaal weet, maar de oningeschreven buitenstaander verlamt al bij de eerste pagina van de handleiding. Wat zou het heerlijk zijn als er werkelijk volauto-

matische huishoudmachines zouden komen! Het gerucht wordt bovendien extra geloofwaardig omdat de volautomatische wasmachine met *fuzzy logic* uit Japan zou komen. Japan is immers al lang niet meer het land van goedkope rotzooi. Nee, de meest geavanceerde elektronica komt tegenwoordig uit Japan. Dus als ze ergens in staat zouden zijn om druk-op-één-knop huishoudelijke machines te maken, dan in Japan.

Eiffeltoren

Wie een kijkje in de keuken van de wasmachine-research neemt, merkt dat het allemaal niet zo simpel is als het in de

eerste jubelende verhalen over de *fuzzy logic* wasmachine wordt voorgesteld. Veel van de jubelverhalen lijken bedoeld om meer subsidies voor een inderdaad wellicht interessante onderzoeksrichting los te krijgen, of om gratis reclame te maken voor de Japanse industrie.

Feit is dat de Japanse volautomatische *fuzzy logic* wasmachine nog niet in de schaduw kan staan van die gewone wasmachine, die bij menig Europeaan ergens achteraf in de kelder of op zolder staat. Weinig mensen staan er bij stil, maar de afgelopen jaren is er een behoorlijke hoeveelheid high-tech in de Europese wasmachine gestopt. De prestaties van een wasmachine zijn daardoor dramatisch verbeterd. Het is een prettige ge- waarwording na alle verhalen dat Japan en Amerika het beter doen dan Europa: bij wasmachines is het eindelijk eens zover dat de Europeanen voorop lopen.

Het klopt tot op zekere hoogte dat Matsushita een volauto-

matische wasmachine heeft. Dat heeft overigens maar zijdelings met het gebruik van *fuzzy-logic* software te maken. Wat dat eigenlijk is, blijft trouwens onduidelijk. Bij *fuzzy logic* wordt niet digitaal gereendeerd: vage logica houdt rekening met de complexiteit van het leven, waar niet alles of nul of één is. En: bij *fuzzy logic* gaat een machine een beetje rommelig, chaotisch redeneren. Net zoals een mens. Een mens beoordeelt in een oogopslag dat de Eiffeltoren groot is. Zou je dat aan een digitaal opgezette computer vragen, dan zou die de Eiffeltoren tot in millimeters precies willen meten en dan nog geen raad weten met de vraag of de toren groot is. Er zit dus iets in om onderdelen van dat vage maar soms heel effectieve menselijke redeneren naar machines over te planten. Maar hoe dat er in de praktijk nu precies uitziet, daar blijven alle verhalen behoorlijk *fuzzy* over.

Veel belangrijker dan *fuzzy logic* in de desbetreffende Japanse wasmachine is het ge-

bruik van een aantal nieuwe sensoren, micro-elektronische chips die als kunstmatige zintuigen functioneren. Bij de bewuste machine zitten er onder andere sensoren in de trommelwand die kunnen meten of er bij het centrifugeren nog waterdruppels van de was afvliegen. Ook zit er een sensor in die de helderheid van het water meet, dat na de eerste spoelbeurt van de was afkomt. Beide sensoren vallen in de categorie gimmicks. Een aardig verkoopargument, maar het is de vraag of de consument er echt wat aan heeft. Een sensor die waterdruppeltjes bij het centrifugeren meet, doet dat slechts op één enkel punt. Bovendien houden verschillende stoffen water verschillend vast. Wol zal door een dergelijke sensor waarschijnlijk veel te vroeg als droog worden beoordeeld. En een sensor die de helderheid van het vuile water meet, kent ook veel bezwaren. Die meet vooral het vuil dat er toch makkelijk vanaf gaat. Een gemene vettvlek die maar lang-



Moderne Europeesche wasmachines herbergen veel technisch vernuft, maar geen 'fuzzy logic'
(foto: Siemens Nederland NV, Den Haag)

zaam oplost valt door zo'n sensor echter niet te meten. Toch is zo'n vlek veelal precies de reden dat de was tot vuil wordt bestempeld.

Daarbij komt een aantal wesenlijke verschillen tussen de Europese en de Japanse wasmachines en tussen de Europese en Japanse wascultuur. In de eerste plaats wassen Japanners met koud water. De was wordt dan ook aanzienlijk minder schoon. Japanners accepteren dat en brengen hun kleding eens in de zoveel tijd naar een wassalon, waar deze eens een keer echt schoon wordt gewassen.

In de tweede plaats staat in de Japanse wasmachines de trommel met was stil en beweegt het water. Bij Europese wasmachines daarentegen draait de trommel door het water. Amerikaanse wasma-

waar je wilt zijn. Was moet beoordeeld worden door een mens die weet hoe de vlek is ontstaan. Die kan zeggen: 'oh ja, dat is een bloedvlek en daar hebben we dus veertig graden voor nodig. En dat is een fruitvlek en daarvoor moet ik extra bleken.'

Kattendarm

Wel een aardige en relevante vergelijking is de Europese wasmachine van nu ten opzichte van die van vroeger. Een wasmachine uit 1980 woog 120 tot 150 kilo tegen 75 kilo nu. Een wasmachine van toen maakte maar 800 toeren maximaal, die van nu haalt 1500 toeren. Die van voor 1980 kon niet minder toeren maken dan 50 en was daardoor minder geschikt voor het wassen van wol (wol vervilt bij

het tennis zich af op banen van gemalen baksteen en werd de bal geslagen door houten rackets met kattendarmen; nu gebeurt het op vochtabsorberende betonbanen en met *high-tech*-rackets van keramische materialen, glasvezel, Kevlar enzovoort. Het is een immens verschil, maar die enorme verandering is bereikt door middel van kleine stille stapjes. Een tennisser van nu zou zijn ogen niet geloven als hij of zij op een tennisbaan uit de jaren zestig zou staan, maar elke technische verandering op zichzelf is vrijwel onopgemerkt verlopen.

Zo is het met de wasmachine ook gegaan. Voordurend werd er weer iets elektronisch aan toegevoegd waardoor de machine weer beter werd. Veel van die veranderingen waren dubbel stil. Voor de techniek van een wasmachine wordt in het algemeen niet veel reclame gemaakt — mede omdat vrouwen vaak beslissen welke machine wordt aangekocht en vrouwen minder gevoelig zijn voor nieuwe technische snufjes. Maar veel van de veranderingen in de wasmachine leidden ook letterlijk tot geruisloze machines.

Zo wordt het toerental van een wasmachine tegenwoordig dankzij een geavanceerde sensor nauwkeuriger gemeten dan vroeger. Daardoor kunnen schommelingen in het toerental beter worden gecompenseerd. Schommelingen worden veroorzaakt door een ongelijke verdeling van het gewicht van de was plus het door de was gebonden water, maar ook omdat datzelfde gewicht versnelt bij het dalen van de trommel en vertraagt bij het stijgen. De aldus ontstane schommelingen leiden tot het lawaaiige trillen van de wasmachine. En trouwens ook tot een geringere levensduur van de machine.

Hoep op een wasmachine die alles voor de consument beoordeelt, is even naïef als het wachten op de videorecorder die weet welke film je wilt zien

chines zijn hierin overigens hetzelfde als de Japanse. Het grote milieuvoordeel van de Europese aanpak is dat er aldus maar dertig tot vijftig procent van het Japanse water wordt verbruikt.

Die twee verschillen — de hogere temperatuur plus een trommel die zo'n duizend toeren per minuut kan maken — maken het vergelijken van een Europese en een Japanse wasmachine tot het vergelijken van appels met peren. De gedachte aan een wasmachine volgens Europese normen die werkelijk alles voor de consument doet, is even naïef als hopen op de videorecorder die weet welke film je vanavond wilt zien of de auto die vanzelf gaat rijden en je dan brengt

een te hoog toerental), de wasmachine van nu draait rustig 25 toeren per minuut. Nog halverwege de jaren tachtig verbruikte een wasmachine 140 liter water, de moderne wasmachine redt het met de helft. Ter vergelijking: een Amerikaanse wasmachine slokt nog steeds 160 liter op. Ook het energieverbruik is daardoor ongeveer met de helft afgangen: het elektrisch opwarmen van het water vergt veel energie. Het opmerkelijkste is misschien nog wel dat al die jaren de wasautomaat ongeveer even duur is gebleven.

De wasmachine is een voorbeeld van een stille verandering. Veel technische vooruitgang is stil. Vroeger speelde

"Japanners zijn zo verzet op high-tech dat ze zich voor veel geld een oor laten aannaaien"

Rond 1980 verschenen de eerste wasmachines waar de motor door een microcomputer werd bediend. Samen met de toerentalsensor maakte deze computerbesturing het mogelijk aanzienlijk rustiger en lichter wasmachines op de markt te brengen. Tegenwoordig is vijftig tot zeventig procent van de Europese wasmachines volelektronisch, dat wil zeggen in het bezit van zo'n microcomputerbesturing.

In veel opzichten is de wasma-

chine van nu technisch bijna af. Het water- en energieverbruik zal nog wel wat kunnen verbeteren: bijvoorbeeld door recirculatie van het gebruikte water of het benutten van de restwarmte van het water. Ook kunnen er nog wat slimme sensoren bij als de prijs van die sensoren genoeg is gezakt. De grote vooruitgang van enkele tientallen procenten zit er evenwel niet meer in.

Daarom ook kunnen ontwikkelaars als Richard Graf van

Siemens-Bosch in Berlijn zo ziedend worden bij het lezen van opgeklopte verhalen over Japanse volautomatische *fuzzy logic* wasmachines. Graf: "Onze machines zijn veel intelligenter dan de Japanse, alleen noemen wij ze niet *fuzzy logic*. In Japan noemen ze nu alles *fuzzy logic*. Het is pure *Spielerei*, zo vragen ze zich absoluut niet af of het zin heeft, nee, als ze maar *fuzzy logic* op het etiket kunnen zetten. In Japan zijn ze zo onvoorstelbaar verzet op *high tech* dat ze zich voor veel geld een oor laten aannaaien."

JOHN ZUIDGEEST

EEN SNELLE TBC-TEST

Algemeen heert de opvatting dat tuberculose in Nederland en België geen rol meer speelt, maar dat is een misvatting. Per jaar zijn er zo'n 1200 tot 1500 nieuwe gevallen. De ziekte komt hier weliswaar steeds minder voor, maar de teruggang gaat betrekkelijk langzaam. Anders is dat in de Derde Wereld. Daar behoort wat het aantal dodelijke slachtoffers betreft tbc bij de tien belangrijkste infectieziekten. Zoals dat voor alle ziekten geldt is het van groot belang, om zo snel mogelijk te constateren dat er van tbc sprake is, zodat zo snel mogelijk begonnen kan worden met de bestrijding van de bacterie die de ziekte veroorzaakt. Dat was tot voor kort onmogelijk, omdat de tuberkelbacil zich traag vermenigvuldigt.

De meeste bacteriën delen

zich ieder half tot heel uur, de tuberkelbacil slechts eens in de 12 tot 24 uur. Dat betekent dat het ook heel lang duurt om uit een bacteriekweek met zekerheid vast te stellen dat de tuberkelbacil de boosdoener is. Er wordt slijm uit de mond of de longen van de patiënt genomen en op een voedingsmedium gebracht. De bacteriën die daar in zitten moeten uitgroeien tot om en nabij een miljard stuks, en dat duurt zo'n zes tot acht weken. Dat is een ernstige handicap voor een doeltreffende snelle bestrijding van de bacterie.

Zwerfbacterie

De moleculair bioloog Jan van Embden, werkzaam bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) in Bilthoven, heeft

een slimme manier gebruikt om de kwalijke bacterie al binnen een dag op te sporen. Hij maakt daarbij gebruik van een recente techniek, de zogenoemde polymerase-kettingreactie of PRC, waarmee het mogelijk is kleine stukjes DNA razendsnel te kopiëren. Ongeveer een tienduizendste deel van het erfelijke materiaal van de bacterie wordt in een cultuurbuis vermenigvuldigd. Het gaat dan om een stukje erfelijk materiaal dat alle typen tuberkelbacillen hebben, terwijl andere bacteriën die ook in dat slijm voorkomen dat stukje erfelijk materiaal niet bezitten. Als er dus één of meer tuberkelbacillen in het slijm zitten, wordt alleen van deze bacteriën dat specifieke stukje DNA vermenigvuldigd. Met de andere organismen gebeurt niets. Als de tuberkelbacil in

het slijm aanwezig is, zal er na enkele uren een flinke hoeveelheid van die stukjes DNA gekweekt zijn.

Jan van Embden: "We hebben dan zo'n miljard tot duizend miljard fragmentjes, die op een specifieke manier vrij gemakkelijk in het laboratorium worden bepaald. Is het resultaat negatief, dan is er geen sprake van tuberculose. Vinden we wel wat, dan is het tegendeel het geval, vooropgesteld dat er zeer zorgvuldig is gewerkt. Een van de problemen van deze test is namelijk dat hij zo gevoelig is. Als de omstandigheden niet helemaal optimaal zijn, zou je een zwerfbacterie die in de lucht zweeft en in het buisje vallen kunnen gaan vermenigvuldigen en op die manier een vals positief resultaat creëren."

Syfilis

Nu is de tuberkelbacil niet de enige ziekteverwekker die

zich traag vermenigvuldigt. Voor het aidsvirus is bijvoorbeeld al een detectiemethode ontwikkeld via de vermenigvuldiging van DNA-fragmenten. Maar er zijn nog meer gevvaarlijke infectieziekten die een snelle opsporing vereisen, zoals syfilis. De verwekker ervan, de bacterie *Treponema pallidum* is niet eens in kweek te brengen, zodat de polymerase-kettingreactie uitkomst zou kunnen bieden. De verwekker van kinkhoest is heel moeilijk levend te pakken te krijgen. Meestal is hij al dood als hij in de neus of in de mond wordt aangetroffen. De snelle vermenigvuldiging van stukjes erfelijk materiaal lijkt dus een ideale oplossing. Helaas zit er een 'maar' aan.

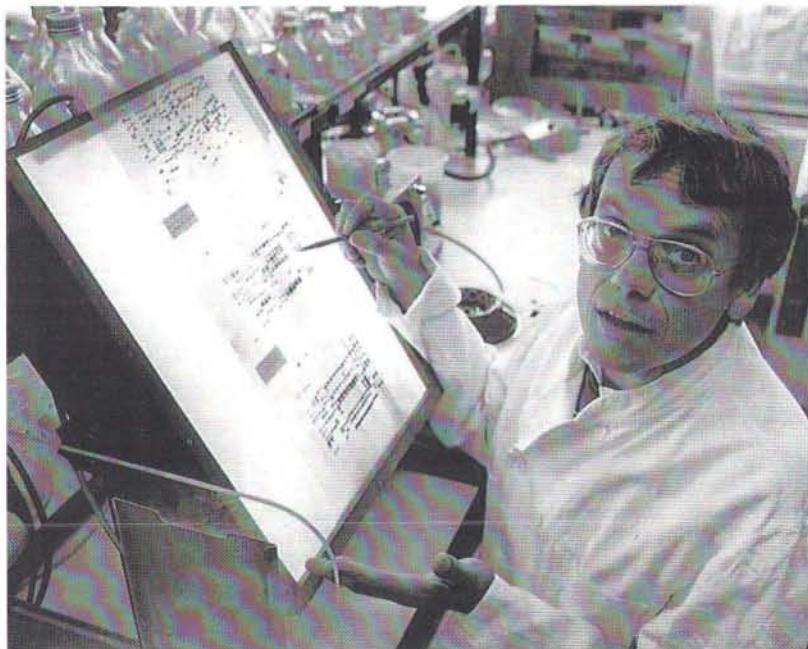
Jan van Embden: "De methode is in principe ideaal, want zij is heel specifiek en heel erg gevoelig, maar technisch is zij nog niet zo eenvoudig. Het is dus niet zo dat de methode routinematig in ziekenhuizen

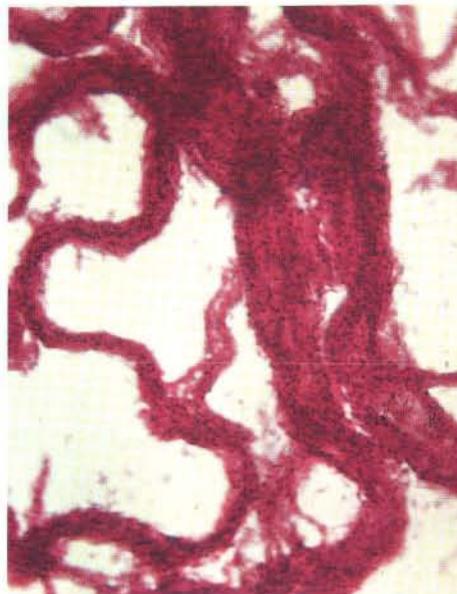
en perifere laboratoria toegepast kan worden, daarvoor is nog wel het een en ander nodig."

Explosie

De polymerase-kettingreactie is een paar jaar geleden uitgevonden. Dat zij een keer toegepast zou worden om tbc snel op te sporen lag in de lijn der verwachtingen. Maar Jan van Embden heeft nog iets anders gedaan. Hij heeft een techniek ontwikkeld om de besmettingsbron op te sporen als er sprake is van een epidemie. De tuberkelbacterie kent namelijk een aantal subtypes, die op onderdelen van elkaar verschillen. Die verschillen zijn terug te vinden in het DNA, de drager van de erfelijke eigenschappen. Door nu een soort vingerafdruk te maken van dat DNA kunnen de verschillende typen onderscheiden worden. "Het DNA-molekool van de bacil is erg groot, ongeveer

Dr Jan v. Embden
(foto: 't Sticht,
Utrecht)





Mycobacterium tuberculosis, de veroorzaaker van tbc. Karakteristiek voor deze bacterie is de liggings in dezelfde richting, waardoor 'serpentines' ontstaan
(foto: Jan van Embden/RIVM)

Met de polymerase-kettingreactie kan tbc in een dag in plaats van in een maand worden aangetoond

twee millimeter, terwijl de bacterie zelf maar een duizendste millimeter groot is. Het ligt dus duizendvoudig opgerold in die bacterie. Dat molekool kan met enzymen op specifieke plaatsen in fragmenten worden geknipt. Omdat die fragmenten verschillend in grootte zijn, kunnen ze worden gescheiden. Ze worden gesorteerd op grootte en overgebracht op een filterpapier. Op dat filterpapier ontstaat dus een afdruk van fragmenten van verschillende lengte. Deze afdruk wordt nu verder geanalyseerd met behulp van een DNA-probe, die radioactief is gemerkt en zich hecht aan een bepaald stukje DNA van de tuberkelbacil. Alle subtypen hebben dat stukje, maar het aardige is, dat de plaats waar het in het DNA voorkomt verschillend is per subtype. Soms zit het in een groot fragment, soms zit

het in een klein fragment. Op grond van de plaats waar het stukje wordt gevonden kunnen ze onderscheiden worden. Op die manier kan door DNA van bacteriekweken van patiënten te vergelijken worden vastgesteld of er sprake is van dezelfde bron of niet." Er is een explosie geweest van tuberculose, die in verband werd gebracht met een huisartsenpraktijk ergens in Noord-Brabant. Er waren 55 gevallen van tuberculose, allemaal patiënten van dezelfde huisarts. Van een aantal patiënten zijn isolaten onderzocht met de vingerafdrukmethode. Die bleken allemaal identiek te zijn. Met deze methode is het dus mogelijk de bron van de epidemie op te sporen. En als de bron bekend is, kunnen maatregelen worden genomen om de epidemie in te perken.

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,

1860-Melse/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Advertenties:

H. Beurskens

Voor nieuwe abonnementen:

0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur,

ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 120,- of 2350 F.

Voor drie jaar: f 285,- of 5585 F.

Prijs voor studenten: f 90,- of 1765 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 11,75 of 230 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:
Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op **NATUUR & TECHNIEK** kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementssjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. **TUSSENTIJDSD** kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van **DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK**.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

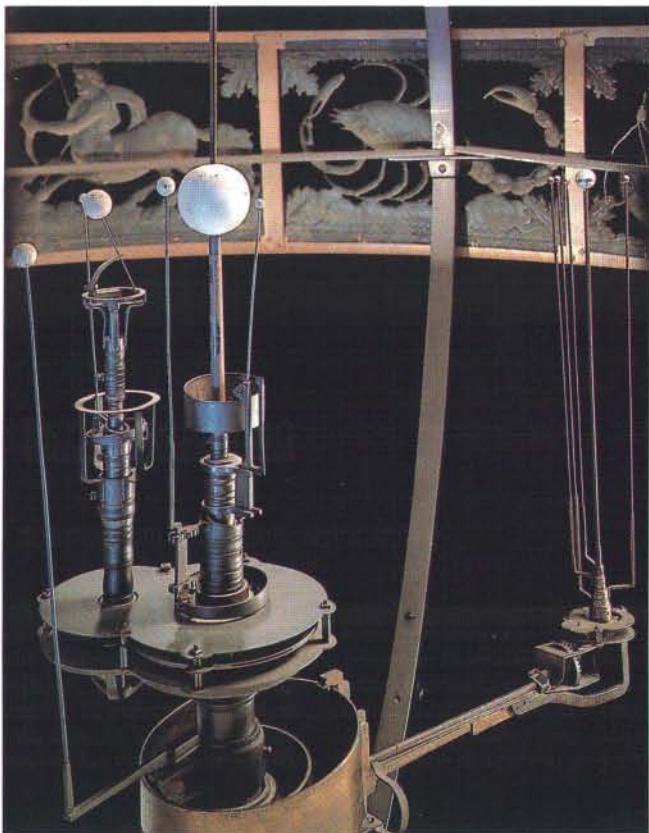
Een tijdreis door vijf eeuwen natuurwetenschap

Museum Boerhaave, Lange Sint Agnietenstraat 10, Leiden. Daagelijks geopend van 10.00 tot 17.00 uur, op zondag pas vanaf 12.00 uur. Telefoon 071-214224.

Onlangs heeft het Rijksmuseum voor de Geschiedenis van de Natuurwetenschappen en van de Geneeskunde zijn deuren weer geopend. Na een sluiting van drie jaar en een verhuizing, heeft het museum onderdak gevonden in het Caeciliagasthuis.

Tot 1988 was het museum gevestigd aan de Steenstraat in Leiden. Aangezien het daar te klein werd voor de omvangrijke collectie, was er behoefte aan een nieuwe lokatie. Dat werd het Caeciliagasthuis, dat tussen 1630 en 1873 dienst deed als algemeen ziekenhuis voor de stad Leiden. Hier gaf ook Boerhaave zelf, naar wie het museum is genoemd, zijn colleges. Het gasthuis werd eerst gerestaureerd en uitgebreid met nieuwbouw, zodat er nu 2000 m² ruimte beschikbaar is voor de collectie.

De bezoeker kan zijn tocht door het museum starten met een bezoek aan de gehoorzaal, waar hij in twintig minuten een goed overzicht krijgt van de ontwikkeling der natuurwetenschappen en geneeskunde in de afgelopen vijf eeuwen. Op deze manier is ook de opzet van het museum beter te begrijpen: een reis door de tijd. Met opzet is gekozen om de rondgang door het museum op te splitsen in drie delen: de perioden 1500 tot 1750, 1750 tot 1850 en 1850 tot 1975. Daardoor komen de tentoongestelde voorwerpen in één zaal uit diverse disciplines: microscopen, slingeruurwerken, kruidenboeken en planetaria staan alle bij elkaar. Dit geeft gelijk aan dat de wetenschap vroeger niet zo 'ongedeeld' werd bedreven. Anatomie en botanie



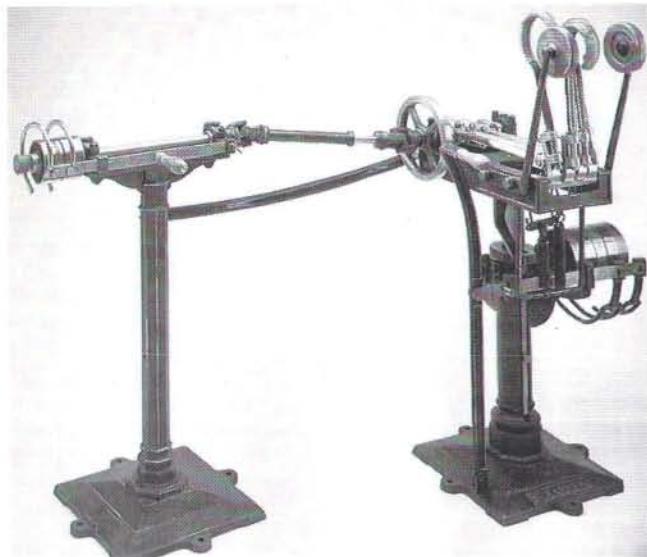
Het manshoge planetarium van Steven Tracy werd gebouwd omstreeks 1670. Het laat de beweging van de pla-

neten rond de zon zien in het zonnestelsel volgens Copernicus met cirkelvormige planetenbanen.

werd vaak door dezelfde onderzoeker bestudeerd. Ook Boerhaave zelf doceerde geneeskunde, plantkunde en scheikunde. De rondgang laat zien dat de diverse disciplines zich de afgelopen vijf eeuwen parallel hebben ontwikkeld. Tijdens onze rondgang komen we van alles tegen, onder meer de microscopen van Van Leeuwenhoek, de chirurgische instrumenten van Cornelis Solingen, planetaria die de beweging van de planeten rond de zon laten zien, de hydrostatische balans van Jan van Musschenbroek,

een thermometer van Fahrenheit, de atmosferische stoommachine van Jan Paauw, machines om elektriciteit mee op te wekken en op te slaan (de zuil van Volta), een collectie apparaten van Gustav Zander voor fysiotherapie; de molekuulmodellen van Jacobus van 't Hoff waarmee hij aantoonde dat melkzuur ruimtelijk op twee manieren kan zijn opgebouwd en zo verschillende eigenschappen heeft, een uitgebreide collectie instrumenten en apparaten waarmee Kamerlingh Onnes in 1908 erin slaagde een tempera-

BEZIENSWAARDIG



ters studenten werden onderwezen via secties op dode mensen en dieren. Aan het eind is een aparte ruimte waar de bezoeker enkele wetten en principes uit de natuurkunde zelf kan uitvoeren. Alleen de uitleg van het hoe en waarom is in dit museumgedeelte een beetje mager.

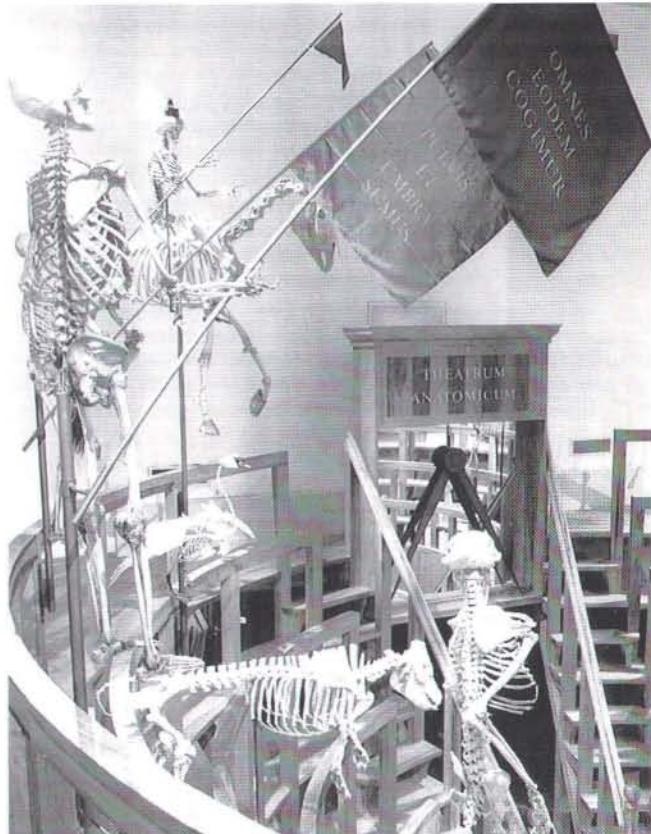
Jacques Verduijn

Met dit toestel voor borst- en rughakking werden door Gustav Zander onwillige spieren weer losgemaakt.

In het Anatomisch Theater waar vroeger secties werden gedaan voor de studenten, zijn nu skeletten van mensen en dieren opgesteld.

tuur te bereiken waarbij helium vloeibaar wordt, rekenmachines, een prototype van een hart-long-machine, een kunstnier van Willem Kolff, een elektronenmicroscoop waar rond 1975 mee werd gewerkt besluit de rondgang. Door gebruik te maken van plexiglas stelt het museum je in staat een goede indruk te krijgen van veel instrumenten omdat je het van alle kanten kunt bekijken. Samen met de 'bijdragen' bij de voorwerpen krijgt de bezoeker al gauw een goed beeld hoe de wetenschappers en geneesheren van die tijd de instrumenten en voorwerpen gebruikten. Het geeft ook aan dat sommige wetenschappers destijds al veel wilden weten van zaken die 'ongrijpbaar' waren (microscopen, sterrenkijkers), terwijl anderen heel praktisch bezig waren, gezien de zeker voor die tijd zeer geavanceerde chirurgische en verloskundige instrumenten, de wasmodellen van mensen en dieren en de vele toestellen om elektriciteit te maken en te gebruiken.

Aan het begin van de rondgang staat een replica van het Anatomisch Theater waar vooral 's win-



Wisselvallig

Arie Steenhuisen. Meteorologie voor de kleine luchtvaart. Gebonden, geïllustreerd, 212 blz. f 75,-. ISBN 90 12 06528 3. SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.

Dankzij Erwin Krol ben ik het weer steeds beter gaan begrijpen. Als hij de wolken op de Noordzee en het lage-drukgebied bij IJsselmeer aanwijst, knik ik instemmend bij zijn verwachting: regen. Het komt me morgen wel slecht uit, maar ik had hetzelfde voorspeld. De volgende ochtend lijkt het allemaal een stuk ingewikkelder. Het regent, daar niet van, maar de weerkaart in de krant verstrekt informatie waar ik eigenlijk geen raad mee weet. Wat gebeurt er na de passage van dat langgerekte front, krijgen we dan beter weer?

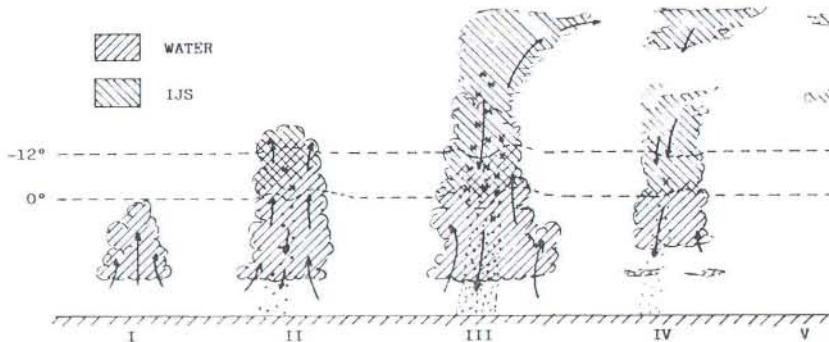
Meteorologie voor de kleine luchtvaart lijkt te kunnen helpen. De omslagtekst belooft dat na een algemene beschrijving van de weerselementen, de nadruk komt te liggen op het gedrag van het weer in de onderste laag van de atmosfeer. Voorts is het boek in een verhalende vorm geschreven, zonder wiskundige formules en zonder de inhoud tekort te doen. Het boek is vooral bedoeld voor (aankomende) bestuurders van allerlei lichte luchtvaartuigen, maar de uitgever vermeldt trots dat ook modelvliegers en vliege-

raars er veel plezier aan kunnen beleven.

Dat zijn toch lieden die met beide benen op de grond blijven? Een degelijk en begrijpelijk boek over weer en wind is de moeite waard voor elke gebruiker van het onderste stukje atmosfeer. Ik waag het erop dat ik tussen de luchtvaartregels door aardig wat meteorologie krijg voorgeschooteld. In de eerste hoofdstukken behandelt auteur Steenhuisen de basisprocessen van de meteorologie. Achtereenvolgens stelt hij de samenstelling van de atmosfeer, luchtdruk, temperatuur en vocht aan de orde, gevolgd door hoofdstukken over het evenwicht van de atmosfeer en over de luchtdrukverdeling. Al snel wrekt zich dat ik geen vlieger ben, hoewel de auteur dat in de eerste hoofdstukken van het boek best had kunnen vermijden. Hij is ongetwijfeld een ervaren piloot en dat blijkt, bijvoorbeeld uit zijn gebruik van eenheden. Zo drukt hij alle hoogtematen uit in voet (met meters tussen haakjes) en alle snelheden in knopen. Ik raak geheel verstrikt in een luchtdrukgradiënt die hij opgeeft in "hPa per 60 nm". Hectopascal per zestig nanometer? Dan moet de lucht een decimeter verderop al vloeibaar zijn! Gelukkig stuit ik honderd pagina's later op een te-

kening van een tropische cycloon, waaruit valt op te maken dat nm voor nautische mijl staat. Dat klinkt een stuk aannemelijker. Stokoude eenheden zullen in de luchtvaart wel gebruikelijk zijn; ik lees er moedig overheen.

De auteur neemt, samen met een luchtdeeltje, zijn lezer hoog mee in de atmosfeer. Onderweg legt hij uit hoe het 'deeltje' afkoelt en waarom dat sneller of langzamer gaat dan de omringende lucht. Hij laat zien wanneer het water condenseert en er zich wolken vormen. Je moet bij de les blijven, maar dan snap je het ook. Later kijk je met genoegen naar hoe een forse bui zich ontwikkelt. De weerkunde uit het boek is goed toepasbaar in het vrije veld, ook voor wie niet het luchtruim kiest. Wind, wolken, neerslag en mist komen uitvoerig aan de orde, gevolgd door luchtsoorten, fronten en luchtdruksystemen. Vooral die laatste onderwerpen zijn tamelijk complex, maar de auteur slaagt er toch redelijk in om ze begrijpelijk op papier te zetten. Het boek eindigt met enkele 'echte' luchtvaart-thema's: thermiek, hoogtemeters, weerkaarten en meteoberichten. Vooral het hoofdstuk over thermiek is een aardig voorbeeld van toegepaste weerkunde. Helaas verzandt het hoofdstuk over weerkaarten en -berichten in een



Deze tekening uit het besproken boek toont de vorming van cumulonimbusbewolking.

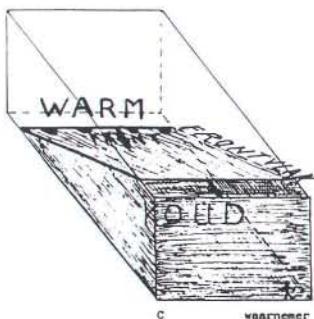


brij van afkortingen en symbolen, waar een 'leek' weinig aan heeft. Jammer, maar geen nood, ik houd me wel aan Erwin Krol. Ondanks een acceptabele inhoud verdient het boek een onvoldoende. De tekeningen zijn beneden peil. Ze sluiten goed aan bij de tekst, maar het zijn niet meer dan schetsen waar een tekenaar iets heel aardigs van kan maken. Dat is niet gebeurd. Nu prijkt op vrijwel elke pagina een staaltje goedbedoeld amateurisme, waarvoor de gerenommeerde SDU uitgeverij zich diep zou moeten schamen. Soms ontbreken illustraties ge-

heel, waar je ze toch echt niet kunt missen. De auteur gebruikt de definities van wolktypen die ook het KNMI hanteert, maar het verschil tussen plukken, flarden, banden en strepen wordt er niet echt duidelijk door. Een serie duidelijke foto's zou hier zeker op zijn plaats zijn. Het boek is eigenlijk geen boek. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de indeling van de hoofdstukken, die nog het meest doet denken aan een afstudeerscriptie. Zo behandelt paragraaf 9 2 hogedrukgebieden, paragraaf 9 2 1 warme hogedrukgebieden en 9 2 1 per-

manente warme hogedrukgebieden. Die opzet mag dan systematisch zijn, ze getuigt van weinig fantasie – zelfs voor een leerboek.

Ik kan me niet aan de indruk onttrekken dat het nooit als boek gemaakt is. Steenhuisen, weerdocent voor piloten en ballonvaarders, had het vast al liggen als een stapel stencils voor zijn leerlingen en SDU zag daar wel brood in. Misschien zit ik er helemaal naast, maar het resultaat van de samenwerking ziet er wel zo uit en daar is niemand mee gebaat. Steenhuisen niet, want zijn boek had veel mooier kunnen zijn. De leerlingvliegers niet, want voor hen is een stapel stencils ook goed, zeker als die de helft goedkoper is. En allerminst de SDU, die een aantrekkelijk weerboek had kunnen uitgeven, waar ongetwijfeld een markt voor is.



Een hoge wolkenformatie kan zorgen voor een plaatselijke bui. (Foto: Peter-Paul Hattinga-Verschure, Deventer)

Het ontstaan van een warm front, dat zich over enkele kilometers uitstrekkt.

Geert Hendrickx

PRIJSVRAAG

Oplossing april

Getuige de vele inzenders, waren veel lezers geïnteresseerd in het afmerende cruise-schip waarop de professor zich bevond. Voor de oplossing gaan we ervan uit dat het touw in cirkels om de bolder ligt. Als in een bepaald deel van het touw een spankracht $F_s(\alpha)$ heerst, is de spankracht even verderop gelijk aan $F_s(\alpha + d\alpha)$. Deze twee krachten liggen bijna in elkaar verlengde en in dat van het stukje touw. Het verschil tussen de krachten geeft de wrijvingskracht, dF_w .

De twee krachten maken onderling ook een kleine hoek $d\alpha$ met elkaar. De component loodrecht op het touw is de normaalkracht. Deze is gelijk aan $F_s(\alpha)d\alpha$. Volgens de definitie van de wrijvingscoëfficiënt geldt nu:

$$F_s(\alpha + d\alpha) - F_s(\alpha) = dF_w =$$

$f F_s(\alpha)d\alpha$, ofwel

$$\frac{dS}{d\alpha} = f F_s(\alpha), \text{ zodat}$$

$$F_s(\alpha) = F_s(0) e^{f\alpha} \text{ en}$$

$$f 2\pi n = \ln[F_s(\alpha)/F_s(0)].$$

De kracht waarmee de matroos het schip moet gaan afremmen is:

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{rcmweg} = \frac{0.5 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1^2}{20} = 5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$F_s(0)$ is gelijk aan 50 N en $F_s(\alpha)$ is $5 \cdot 10^4 \text{ N}$. Daaruit volgt dat $f 2\pi n$ gelijk is aan ongeveer 6,69 en n gelijk is aan 5,49. Het minimale aantal slagen van het touw om de bolder is dus 6.

De lootprijs, een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, is gewonnen door Dirk Torfs uit Herent. C. Kentie uit Breda bereikte deze maand de top van onze laddercompetitie en wint daarmee een jaarabonnement op Natuur & Techniek.

De nieuwe opgave

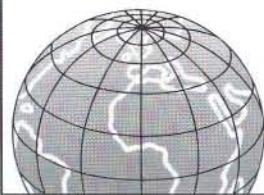
Na zijn bootreisjes en bridgepartijtjes, is de professor voor de verandering weer eens het laboratorium ingedoken. Allereerst is het hard nodig om deze werkruimte eens uit te mesten. De professor vindt op een van de schappen een grote fles met een oplossing waarin zich chloride en bromide bevindt. Hij neemt een monster uit deze fles en laat het reageren met een overmaat zilvernitraatoplossing. Het verkregen neerslag heeft na drogen een massa van 1,52 gram. Vervolgens verhit de professor dit neerslag in een stroom chloorgas tot de massa niet meer verandert. Het massaverlies bedraagt dan 0,087 gram. Wie van de lezers helpt de professor met het bepalen van de massaverhouding van bromide en chloride in de oorspronkelijke oplossing?

De Stichting Scheikunde Olympiade Nederland stelde ons deze opgave ter beschikking. De puzzelredactie verwacht de oplossingen uiterlijk 4 juli op haar bureau: Natuur & Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK MAASTRICHT

Het is helaas niet mogelijk om over de prijsvraag te corresponderen. Omdat de redactie desondanks regelmatig allerlei vragen over de laddercompetitie ontvangt, volgt hier wat informatie. De puzzelredactie kent aan iedere goede oplossing zes punten toe. Gedeeltelijk goede antwoorden verdienen een lager aantal. De kop van het klassement ligt rond tachtig punten. Dit getal kan binnenkort natuurlijk oplopen door massale deelname van lezers aan de competitie.



geotechnica



Internationale vakbeurs en congres voor geotechniek

Keulen, 18 t/m 21 september 1991

De aarde is ons aller belang!

Voor de eerste keer wordt in Europa een uitgebreide presentatie van geowetenschappen en geotechniek gehouden.

Circa 300 firma's uit 5 continenten presenteren op deze vakbeurs hun aanbod van apparatuur, installaties en procédé's, onder meer uit de sectoren civiele bouw, mijnbouw en bodemtechniek, geochemie, landmeetkunde, geologie en geofysica, verder hydrologie en waterhuishouding, cartografie, remotesensing, ecologie, afvalverwerkingstechnieken en milieutechniek.

Gelijktijdig vindt een congres plaats onder auspiciën van de Alfred-Wegener-Stichting.

De thema's zijn:

- De geobiotechniek in beweging
- gebruik van geobiotechnieken
- dataregistratie en onderzoek
- inzicht in de resultaten van
- naar het systeem aarde
- bescherming van het milieu

Hoog gekwalificeerde sprekers en ruim 1.000 deelnemers maken het congres tot een interdisciplinair informatievergadering voor het veilig stellen van de wereld.

Noteer reeds nu de datum en vraag informatie aan!

Voor het congres:
Cologne Congress
Management GmbH
Postbus 180 180,
W-5000 Köln 1, BRD
Tel. 09-49 221/23 64 13.
Fax 221/24 94 47

Voor de vakbeurs
Nederlands-Duitse Kamer
van Koophandel
Postbus 80533,
2508 GM DEN HAAG,
tel. 070-3614251,
fax: 070-3632218,
telex 32138. Giro: 219251.



Onder auspiciën van:
Alfred-Wegener-Stichting,
Bonn

Köln Messe

Toezending van uw kaarten

Zendt de bon voor uw bestelling aan de Kamer, incl. de voor het totale bedrag ingevulde giro-betaalkaart, betaalcheque of giro/bankoverschrijving.

U ontvangt de kaarten dan z.s.m. van de Kamer. Bestelling uitsluitend schriftelijk!

Bon

Naam: _____ Adres: _____

Firma: _____ Postcode en plaats: _____

Wij verzoeken om toezending van:

dagkaarten à fl. 17,75 (in Keulen DM 15,-) = fl. _____
 doorlopende toegangskaarten à fl. 34,75 (in Keulen DM 30,-) = fl. _____
 catalogus à fl. 31,- = fl. _____

totaal: = fl. _____

Gaarne uw cheque voor dit bedrag meesturen.

Aanvragen zonder betaling kunnen niet in behandeling worden genomen.